



**THÈSE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1**  
*sous le sceau de l'Université Européenne de Bretagne*

pour le grade de  
**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES 1**  
*Mention : Traitement du Signal et Télécommunications*

**Ecole doctorale Matisse**

présentée par

**Frédéric Mangonneaux**

préparée à l'unité de recherche UMR 6164 IETR  
Institut d'Electronique et des Télécommunications de Rennes  
UFR Structure et Propriétés de la Matière

---

**Commande  
générique d'ouvrants  
pilotés Automobiles  
garantissant la  
sécurité utilisateur**

**Thèse soutenue à Cesson- Sévigné  
le 17 décembre 2009**

devant le jury composé de :

**Vincent COCQUEMPOT**

Professeur Université de Lille 1, Sciences et  
Technologies, LAGIS / *rapporteur*

**Xavier MOREAU**

Professeur Université de Bordeaux, IMS /  
*rapporteur*

**Noureddine MANAMANNI**

Professeur Université de Reims Champagne  
Ardenne, CReSTIC / *examineur*

**Daniel THOUROUDE**

Professeur Université de Rennes 1, IETR /  
*examineur*

**Cédric NOUILLANT**

Ingénieur de recherche PSA Peugeot Citroën /  
*examineur*

**Hervé GUEGUEN**

Professeur Supélec, IETR / *directeur de thèse*

**Pierre-Yves RICHARD**

Professeur Supélec, IETR / *invité*

*Version Publique*



*Cette version est une version publique du mémoire. Certaines parties applicatives ont été supprimées dans cette version.*

*La version complète du mémoire sera disponible à partir de décembre 2014.*



« L'homme et sa sécurité doivent constituer la première préoccupation de toute aventure technologique. »

Albert Einstein



# Remerciements

Ce travail a été effectué conjointement avec l'unité de recherche UMR 6164 IETR, au sein de l'équipe ASH de Supélec et la Direction de la Recherche et de l'Ingénierie Avancée de PSA Peugeot Citroën.

Je témoigne toute ma reconnaissance à Hervé Guéguen, directeur de cette thèse, pour sa patience, sa disponibilité et son exigence constante dans ces travaux de recherche.

Je remercie également, M. Vincent Cocquempot, professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille et M. Xavier Moreau, professeur à l'Université de Bordeaux 1, d'avoir accepté la tâche de rapporteurs de cette thèse. Je témoigne toute ma gratitude à M. Nouredine Manamanni et M. Daniel Thouroude pour avoir accepté de participer au jury de thèse.

Je tiens également à remercier Pierre-Yves Richard, qui m'a encadré également tout au long de cette thèse, pour sa constante disponibilité et ses conseils pour mener à bien ce travail.

Je remercie très chaleureusement Cédric Nouillant, instigateur de ces travaux de thèse qui m'a encadré, motivé (surtout pour tenir les délais de rédaction) et supporté (la rumeur dit qu'un thésard en troisième année est prétentieux et impertinent, je n'en suis pas certain) pendant ces trois années, ce fut un réel plaisir d'être son Padawan.

Qu'il me soit permis, de remercier également Franck Guillemard pour son accueil au sein de l'équipe Mécatronique ainsi que ses remarques pertinentes sur ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à M. Jean-Yves Marteau, qui m'a accueilli dans le service EEES, et maintenant C3E, et m'a accordé une grande confiance sur ce travail, en n'hésitant pas à donner de sa personne pour valider les procédures d'anti-pincement.

Je remercie mes collègues de PSA Peugeot Citroën, les membres de l'équipe ASH de Supélec, qu'ils aient été apprentis, stagiaires, thésards, perma-

nents ou bien professeurs, ils ont contribué par leur gentillesse et leur soutien à créer une superbe ambiance de travail.

Enfin, j'adresse mes chaleureux remerciements à mes parents, ma soeur et mon futur beau-frère et aussi à mes amis pour m'avoir toujours soutenu et encouragé, et pour m'avoir permis de mettre en défaut une célèbre citation d'Albert Einstein :

*« La théorie, c'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne. La pratique, c'est quand tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi.*

*Ici, nous avons réuni théorie et pratique : Rien ne fonctionne ... et personne ne sait pourquoi ! »*



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>11</b>
1.1	Assistances du conducteur . . . . .	12
1.1.1	Tendances . . . . .	12
1.1.2	Les principales raisons de ce développement . . . . .	15
1.2	Les ouvrants automobiles . . . . .	16
1.2.1	Problématique . . . . .	17
1.2.2	Etat de l’art des solutions potentielles . . . . .	20
1.2.3	Applications . . . . .	24
1.3	Conclusion . . . . .	25
<b>2</b>	<b>Description de l’application</b>	<b>27</b>
2.1	La description d’un ouvrant piloté automobile . . . . .	28
2.1.1	Description LVE . . . . .	30
2.1.2	Description PLCM . . . . .	39
2.2	Le modèle simplifié . . . . .	46
2.3	La modélisation de l’obstacle . . . . .	50
2.4	La mesure par un capteur à impulsions . . . . .	52
2.4.1	Le capteur à effet Hall . . . . .	53
2.4.2	La roue codeuse . . . . .	54
2.5	Conclusion . . . . .	55
<b>3</b>	<b>Application sans asservissement</b>	<b>57</b>
3.1	Introduction . . . . .	58
3.2	Principe de la méthode . . . . .	59
3.2.1	La mesure . . . . .	60
3.2.2	Fonctionnement général de la méthode de détection . . . . .	63
3.3	La génération du bloc <i>estimation</i> . . . . .	67
3.3.1	La méthode de référence . . . . .	68
3.3.2	La nouvelle méthode . . . . .	69
3.3.3	Garantie de la sécurité . . . . .	76
3.3.4	La mise au point de l’algorithme . . . . .	77

3.4	Les résultats [Confidentielle] . . . . .	79
3.4.1	L'architecture de détection . . . . .	80
3.4.2	Les résultats en simulation . . . . .	81
3.4.3	Les résultats expérimentaux [Confidentielle] . . . . .	84
3.5	Conclusion [Confidentielle] . . . . .	85
<b>4</b>	<b>Détection et système asservi</b>	<b>87</b>
4.1	Introduction . . . . .	88
4.2	Problématique . . . . .	89
4.2.1	Description du phénomène sur 3 exemples . . . . .	92
4.2.2	L'analyse du transfert entre l'erreur d'asservissement et la perturbation. . . . .	96
4.3	Algorithmes spécifiques . . . . .	99
4.3.1	L'approche séquentielle . . . . .	99
4.3.2	L'approche simultanée - Le correcteur à 4 paramètres .	107
4.3.3	Comparaison de l'observateur C2O et du correcteur 4 paramètres . . . . .	112
4.4	Conclusion . . . . .	113
<b>5</b>	<b>Application asservie : la PLCM</b>	<b>117</b>
<b>6</b>	<b>Conclusions générales et Perspectives</b>	<b>119</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>123</b>
<b>A</b>	<b>Principe de fonctionnement de l'observateur C2O</b>	<b>131</b>

# Chapitre 1

## Introduction

### Sommaire

---

<b>1.1</b>	<b>Assistances du conducteur . . . . .</b>	<b>12</b>
1.1.1	Tendances . . . . .	12
1.1.2	Les principales raisons de ce développement . . . .	15
<b>1.2</b>	<b>Les ouvrants automobiles . . . . .</b>	<b>16</b>
1.2.1	Problématique . . . . .	17
1.2.2	Etat de l'art des solutions potentielles . . . . .	20
1.2.3	Applications . . . . .	24
<b>1.3</b>	<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>25</b>

---

## 1.1 Assistances du conducteur

### 1.1.1 Tendances

Nous assistons depuis plusieurs années à une multiplication des assistances électroniques dans le domaine automobile. Il existait auparavant de nombreuses fonctions d'assistance dans un véhicule, qui étaient gérées pour la plupart mécaniquement ou hydrauliquement, et qui sont maintenant gérées électroniquement. Ces choix sont dictés par une meilleure prise en compte de toutes les situations de vie par la gestion électronique. Par exemple, sur un moteur thermique moderne à allumage piloté, le papillon d'admission d'air n'est plus relié directement à la pédale d'accélérateur, mais il est piloté électriquement. Cela permet de limiter l'arrivée d'air lorsque la situation l'exige, pour la dépollution ou pour préserver le moteur, par exemple. Bien sûr, en situation de vie nominale, la position de la pédale d'accélérateur génère la demande de couple de moteur.

Ce développement de l'électronique a permis l'introduction de nouvelles fonctions. Nous pouvons les regrouper dans trois grandes familles :

- les assistances de sécurité,
- les assistances de gestion du moteur,
- les assistances de confort.

#### Les assistances de sécurité

Les assistances de sécurité sont liées à la dynamique du véhicule et sont communément regroupées dans le domaine de la *sécurité active*. Les fonctions suivantes en sont quelques exemples :

- l'ABS, Antiblockiersystem, qui permet à toutes les roues d'avoir en phase de freinage des vitesses cohérentes entre elles et évite ainsi leur blocage lors des freinages en situation délicate (faible adhérence, décélération brusque) ; Fig. 1.1,
- l'ESP, Electronic Stability Program, qui améliore le contrôle de trajectoire d'un véhicule en exploitant la connaissance du contact roue/sol [Stephant 01],
- l'assistance au freinage, qui permet au véhicule de freiner au maximum de ses capacités lors de la détection d'une phase de freinage d'urgence,
- la direction à assistance variable, qui permet de moduler l'assistance en fonction de la vitesse du véhicule,
- le Grip Control, un antipatinage intelligent qui permet de gérer au mieux la motricité des roues avant en fonction de l'adhérence du véhicule,

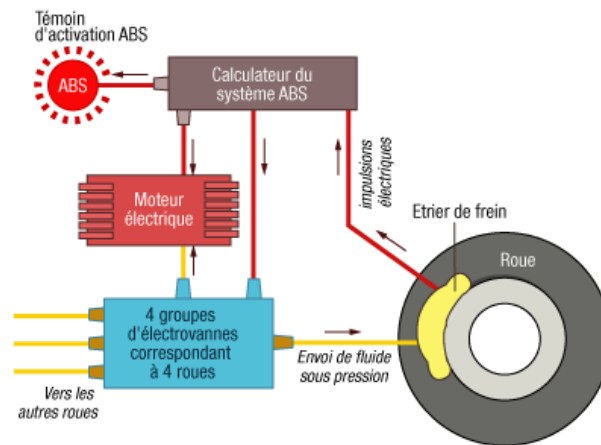


FIG. 1.1 – Schéma de principe de l'ABS - Photo © L'Internaute Magazine.

- le Distance Alert, qui délivre en continu la distance avec le véhicule précédent,
- l'AFIL, Alerte de Franchissement Involontaire de Ligne, dispositif qui informe le conducteur du franchissement involontaire (sans actionner les clignotants) d'une ligne continue ou discontinue,
- la suspension oléopneumatique, dont la modélisation, [Guillemard 96], et le contrôle permettent d'améliorer le confort et la tenue de route du véhicule,
- les phares directionnels, qui permettent d'asservir le faisceau des phares à la trajectoire de consigne du volant.

### La gestion du moteur

La gestion du moteur est elle aussi de plus en plus pilotée ; nous pouvons citer comme exemples :

- le pilotage de l'injection, qui peut être complètement découplé de la volonté du conducteur en fonction des phases de fonctionnement, de multiples injections durant le même cycle moteur étant même possibles,
- le pilotage de l'admission d'air, qui tout comme l'injection peut être découplé de la volonté du conducteur en fonction des phases de fonctionnement,
- la gestion de la dépollution, qui intervient en post-traitement, traitement des gaz de combustion, ou alors avant la combustion, mais qui, dans les deux cas, dépend de nombreux paramètres comme les températures ou les pressions d'air d'admission, d'huile, d'eau, etc.,
- l'hybridation de la motorisation, [Delprat 02], qui implique une gestion

très précise des différents moteurs pour avoir un rendement optimum et une discrétion maximale vis-à-vis du conducteur,

- le moteur camless, qui consiste à piloter électroniquement les soupapes au lieu de lier leur dynamique à celle du moteur par des cames, Fig. 1.2 ; son intérêt est souligné par des travaux récents.

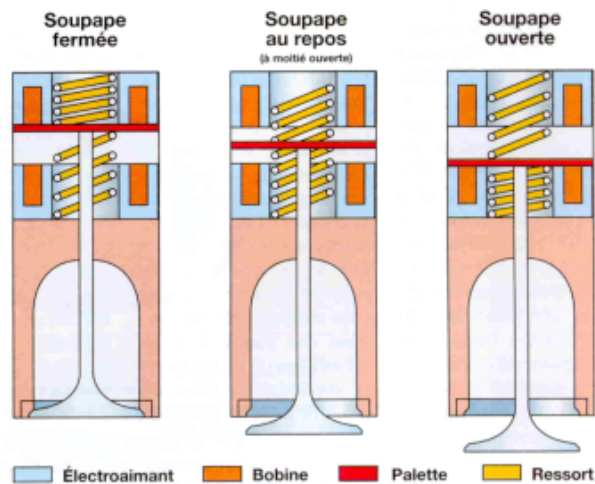


FIG. 1.2 – Schéma de principe du système camless.

### Les assistances de confort

Le confort des passagers est une préoccupation constante des constructeurs. Le développement de fonctions d'assistance dans ce domaine est donc important, comme nous le montrent les exemples suivants :

- l'air conditionné (de plus en plus, l'utilisateur définit une consigne de température d'habitacle, voire même deux dans le cas d'air conditionné bi-zone),
- l'allumage automatique des phares, en fonction de la luminosité,
- l'essuie vitre automatique, en fonction de la visibilité,
- le régulateur de vitesse véhicule,
- le siège électrique à mémoire, pour enregistrer la position du siège pour des conducteurs différents,
- le rétroviseur intérieur photo-sensible, en fonction de la luminosité,
- le frein de stationnement électrique, qui se serre automatiquement à l'arrêt du véhicule,
- l'aide au démarrage en pente, couplé avec le frein de stationnement électrique, qui permet au conducteur de relâcher la pédale de frein et de démarrer sans à coups,

- l’automatisation des ouvrants, vitre électrique, toit ouvrant, PLCM, coupé cabriolet, etc. C’est ce domaine en particulier qui est présenté ici.

### 1.1.2 Les principales raisons de ce développement

Il y a deux raisons principales au développement de ces fonctions, la première d’ordre légal et la seconde d’ordre commercial.

1. Les contraintes législatives : il existe un certain nombre de contraintes réglementaires à valider pour l’homologation d’un véhicule.

Au niveau des fonctions de sécurité, les contraintes imposent la présence de série de fonctions comme l’ABS ou encore prochainement l’ESP. De plus, les tests Euro NCAP, qui ne sont pas des normes législatives mais des essais consommateurs *quasi obligatoires*, tiennent compte maintenant de la présence de fonctions de sécurité active pour l’attribution des étoiles. De la même manière, il existe un certain nombre de contraintes à la conception mécanique aussi bien pour assurer la sécurité des occupants que celle des personnes à proximité du véhicule. Le capot actif en est un exemple. En effet, pour assurer la sécurité d’un piéton lors d’un choc avant, il existe une distance minimale à respecter entre le capot et le moteur. Pour répondre aux contraintes stylistiques et législatives, un capot actif qui se soulève en cas de choc piéton a été inventé et proposé sur la Citroën C6.

Au niveau de la gestion du moteur, il existe des contraintes liées au rejet des polluants des véhicules, c’est actuellement la norme EURO V qui impose par exemple la présence d’un Filtre à Particules, FAP, sur les moteurs diesel. En effet, la norme sur le rejet de particules est si exigeante qu’à l’heure actuelle seule une stratégie qui retient les particules est capable de répondre à ces contraintes. De plus, la future norme EURO VI qui imposera une réduction conséquente des rejets de  $NO_x$ , provoquera la mise en place de stratégies spécifiques à ces polluants. Récemment, l’Union Européenne a légiféré sur les rejets de  $CO_2$ , ce qui obligera les constructeurs à poursuivre leurs efforts dans la réduction de la consommation de carburant de leurs véhicules, la production de  $CO_2$  étant proportionnelle à la consommation de carburant.

Au niveau du confort il existe également des normes de sécurité à respecter, notamment dans le cas de l’automatisation des ouvrants, pour ne pas blesser les occupants. Par exemple, pour un lève-vitre électrique, la norme EEC/74/60 s’impose en Europe. Cette norme stipule que l’effort maximum subi par l’obstacle doit rester inférieur à  $100N$ , que la

zone de détection doit être comprise entre  $4mm$  et  $200mm$  du bord, pour un obstacle de raideur  $10N.mm^{-1}$  et de dimension comprise entre  $4mm$  et  $200mm$ . Ces contraintes supplémentaires sont à prendre en compte lors du développement. De même, l'ergonomie des commandes doit permettre d'éviter le plus possible que le conducteur soit distrait de la conduite.



FIG. 1.3 – Illustration de l'anti-pincement.

2. La raison commerciale : la multiplication des fonctions d'assistance vient du fait qu'elles sont un facteur de différenciation important et qu'elles permettent de développer l'image d'un produit ou même d'une marque de manière significative.

## 1.2 Les ouvrants automobiles - problématique et applications

Dans le contexte concurrentiel actuel, le développement des ouvrants pilotés automobiles devient nécessaire. En effet, les constructeurs sont sans cesse dans l'obligation d'innover pour rester attractifs vis-à-vis du client. Les ouvrants pilotés automobiles font partie des atouts différenciateurs. En effet, le terme ouvrant désigne, Fig. 1.5 :

- les lève-vitres électriques,
- les toits ouvrants,
- les vélums d'occultation des toits panoramiques,
- les toits escamotables,
- les coffres motorisés,



- les portes latérales coulissantes.

Tous ces ouvrants sont une source d'attrait pour le client, de par leur praticité ou encore par leurs facteurs de différenciation important. Leur développement n'en sera que renforcé dans les années à venir, comme le montre l'étude de style du projet HoneyB, Fig. 1.4, réalisée dans le cadre du concours de design organisé par Peugeot en 2007.



FIG. 1.4 – Une vision futuriste du véhicule urbain.

Cependant, comme pour toutes les fonctions et organes automobiles, différentes entités travaillent sur ce même thème. En effet, les équipes produits vont fixer un cahier des charges pour l'ouvrant et surtout définir ses caractéristiques, une vitre sans encadrement par exemple. Les designers vont eux proposer différentes visions de l'ouvrant en fonction du cahier des charges. Les équipes de développement interviennent elles aussi pour respecter les contraintes législatives, d'industrialisation, mais aussi celles liées aux fournisseurs. Les échanges sont alors nombreux entre toutes les entités pour permettre le bon développement de l'ouvrant. Il est alors nécessaire de bien connaître et comprendre les différents enjeux liés à cette problématique.

### 1.2.1 Problématique

Il existe deux types de pilotage des ouvrants.

Le premier est un système classique et/ou d'assistance. Dans ce cas, l'utilisateur gère complètement le déplacement de l'ouvrant. Dès que l'utilisateur arrête son action sur l'ouvrant dans le cas d'une assistance, sur une interface pour un système classique, l'ouvrant s'immobilise. Une application classique peut être le lève-vitre électrique non séquentiel. En effet, dès que l'utilisateur n'actionne plus l'interrupteur, le moteur électrique n'est plus alimenté et la vitre s'arrête. Ainsi, avec un système classique et/ou d'assistance, le déplacement de l'ouvrant est entièrement imputable aux actions de l'utilisateur.



FIG. 1.5 – Exemples d’ouvrants du groupe PSA Peugeot Citroën .

Le second type est le pilotage automatisé des ouvrants. Ici, l'utilisateur demande simplement à ce que l'ouvrant se déplace jusqu'à une position prédéfinie. Une brève action de l'utilisateur entraîne le déplacement complet de l'ouvrant. Nous prenons comme exemple le lève-vitre électrique séquentiel : l'utilisateur demande à ce que la vitre remonte complètement, par une courte action sur l'interrupteur. Dès lors, le système de contrôle commande gère le déplacement de l'ouvrant dans le cas normal, mais aussi en cas de dysfonctionnement (perte de fonctionnalité ou présence d'un obstacle sur le trajet de la vitre).

Il faut donc assurer un fonctionnement sûr et robuste du système d'ouvrant piloté automatisé. Sinon, le système pourrait blesser un occupant. Un certain nombre de réglementations, en fonction des pays et des ouvrants, donnent les contraintes maximales admissibles pour garantir l'intégrité des utilisateurs, ainsi que les procédures de vérification à mettre en oeuvre, [Sollmann 04] et [Kliffen 01].

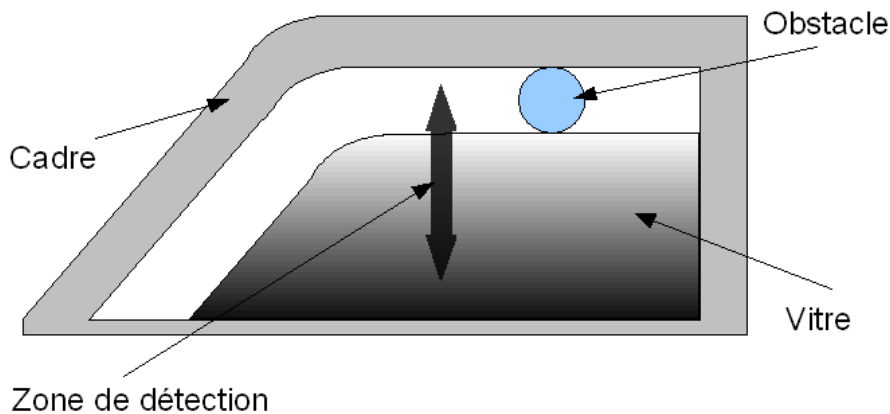


FIG. 1.6 – Exemple d'un lève-vitre.

Une mauvaise conception est donc un frein au déploiement de ces systèmes, ce qui n'est pas souhaitable compte tenu de leur attrait croissant. Il est alors nécessaire de spécifier des exigences plus pointues pour des systèmes robustes et sûrs de fonctionnement.

La problématique est alors de réaliser *le pilotage du déplacement de l'ouvrant tout en garantissant la sécurité de l'utilisateur*.

Le cahier des charges de l'asservissement devra définir le temps de manœuvre de l'ouvrant, les contraintes du système vis-à-vis de l'accélération maximale de l'ouvrant, les contraintes par rapport au ressenti de l'utilisateur, ou encore les contraintes mécaniques liées à la fermeture de l'ouvrant

(vitesse d'entrée dans la gâche). Toutes ces contraintes de développement peuvent se traduire en contraintes sur la consigne de vitesse, mais aussi sur l'accélération.

Il faudra d'autre part prendre en compte les nombreuses dispersions, qu'elles soient liées à la fabrication et au montage ou aux variations de l'environnement d'utilisation. L'ouvrant doit se mouvoir sans difficulté et toujours garantir la sécurité de l'utilisateur. L'objectif va être de rejeter au mieux toutes ces perturbations, pour garantir une qualité de déplacement constante à l'utilisateur. Par contre, lors de l'impact avec un obstacle, il faudra être très réactif <sup>1</sup>, pour que la sécurité de l'utilisateur soit garantie.

La qualité de la détection se mesure à partir de trois critères principaux, le ratio de fausses détections<sup>2</sup>, le ratio de non-détection<sup>3</sup>, l'effort maximum appliqué à l'obstacle en cas de choc. L'enjeu sera alors de réduire au maximum la gêne occasionnée.

### 1.2.2 Etat de l'art des solutions potentielles

Nous trouvons dans la littérature, deux approches pour la détection : la détection directe, qui utilise un capteur spécifique à la détection d'obstacle, [Sollmann 04], et la détection indirecte qui s'appuie sur les capteurs présents et leur associe des algorithmes de détection.

#### 1. Les méthodes directes

Elles sont basées sur un capteur qui réagit en cas de contact ou de vision de l'obstacle. Dans le cas d'une solution optique, un faisceau infra-rouge balaye le champ des endroits probables de présence d'un obstacle, et le signal de retour est analysé. Dans le cas d'une détection sans contact, le capteur capacitif peut être utilisé. En effet, la présence d'un corps étranger à proximité du joint va modifier sa capacité et donc la détection va être possible. Dans le cas d'une détection avec contact, le joint résistif détecte le contact de l'obstacle avec le joint. Un joint résistif est composé de deux lamelles conductrices, qui rentrent en contact lors de la compression du joint.

---

<sup>1</sup>Le temps de détection sera de l'ordre de la centaine de milli-secondes pour une porte latérale coulissante motorisée

<sup>2</sup>Une fausse détection, appelée aussi obstacle "fantôme", réside dans la détection d'un obstacle alors qu'il n'y en a pas. Dans ce cas, le système ne peut poursuivre correctement sa trajectoire.

<sup>3</sup>Une non-détection est l'absence de détection en présence effective d'obstacle. Dans ce cas, le système continue son déplacement jusqu'à saturation de l'effort sur l'obstacle.

Il existe un inconvénient majeur à ces deux méthodes, il ne peut pas y avoir de détection en dehors des zones couvertes par la conception. S'il y a un obstacle en dehors du balayage du faisceau infra-rouge, ou que l'obstacle apparaît sur une zone non recouverte d'un joint, il ne sera pas détecté. De plus, il faut que le placement du capteur ne perturbe pas le déplacement de l'ouvrant et ne gêne pas sa fermeture. En effet, si le joint, lors du déplacement, se trouve trop proche du bâti de la voiture, il va générer une détection et l'ouvrant ne pourra pas achever son déplacement, ou alors la détection sera désactivée à proximité de la butée, ce qui n'est pas souhaitable.



FIG. 1.7 – Différents joints pour la détection directe.

Les avantages et les inconvénients de cette approche sont :

- Avantages :
  - La détection peut être préventive, comme dans le cas du joint capacitif ou de la cellule optique.
  - Il y a très peu de fausses détections d'obstacle, si le capteur est en bon état et correctement positionné.
  - Le nombre de non détections d'obstacle est très limité, si le capteur est en bon état et correctement positionné.
- Inconvénients :
  - La couverture de la zone de détection est restreinte.
  - Le capteur doit rester en bon état, malgré toutes les attaques extérieures. Par exemple, la pluie peut influencer sur la détection avec un capteur capacitif.

- Le capteur doit être positionné de manière optimale, de façon à éviter les zones non couvertes. Mais il ne doit pas entraver la manœuvre de l'ouvrant, par exemple en rentrant en contact avec le bâti de la voiture lors de son déplacement.
- Le coût significatif pour le domaine automobile.

## 2. Les méthodes indirectes

Elles sont basées sur un algorithme qui évalue la présence d'un obstacle à partir des informations disponibles par ailleurs. Actuellement le courant traversant le moteur électrique et la vitesse de rotation de l'arbre moteur sont les deux principales mesures. La mesure du courant, qui est une image de l'effort du moteur électrique, définit la détection par comparaison avec une valeur pré-définie. De manière analogue, la mesure de la vitesse, qui est une image de l'accélération/décélération, est comparée avec un seuil défini pour analyser la présence ou non d'un obstacle.

Les avantages et les inconvénients de cette approche sont :

- Avantages :
  - Elles se basent généralement sur des capteurs facilement intégrables.
  - Elles sont moins dépendantes du trajet de l'ouvrant.
  - Leur coût reste limité.
- Inconvénients :
  - Elles nécessitent des phases de mise au point pour rendre les algorithmes robustes, sinon il y a un risque important de fausse détection et/ou de non détection.
  - Pour être efficace, l'algorithme doit être sensible à l'apparition de l'obstacle à travers l'une de ses variables. Il n'est donc pas possible d'anticiper la détection, contrairement à un joint capacitif par exemple.

Nous pouvons évidemment coupler les deux principes et/ou multiplier le nombre d'algorithmes de détection, pour optimiser la sécurité de l'utilisateur.

A partir des études précédentes, deux remarques s'imposent :

- Les capteurs directs ont une très bonne sensibilité à la détection, le joint sensitif pouvant détecter un obstacle avant même l'impact. Par contre, leur mise en oeuvre n'est pas simple, et ils ne protègent que des zones définies au départ.
- Les capteurs indirects sont facilement implantables sur le système. Par contre, le bruit des capteurs peut être gênant pour la sensibilité de la

détection.

L'enjeu va alors porter sur les méthodes indirectes, moins chères dans leur mise en oeuvre. Il va falloir se concentrer sur la sensibilité de la détection.

Des exemples de détections indirectes sont principalement donnés dans des brevets industriels. Nous pouvons citer les brevets suivants qui se basent sur une étude de l'information issue d'un capteur de position moteur pour la détection d'obstacle : [Kikuchi 99] utilise une sécurité paramétrable pour la robustesse tout comme [Cook 98]. [Wrenbeck 95] utilise un algorithme spécifique pour gérer les phases de transition. [Honma 05] détecte sur la base d'une moyenne glissante et à l'aide d'une connaissance du profil de vitesse de référence. [Kidokoro 02] utilise aussi une moyenne glissante pour la détection tout comme [Choby 05]. [Bouamra 98] compare la fréquence de rotation du moteur à un seuil fixe. Le principe utilisé par [Kobayashi 06] repose sur une accumulation d'informations pour la détection, en particulier pour la détection d'obstacle d'une raideur faible.

D'autres méthodes de détection utilisent plusieurs capteurs, ici le capteur de position moteur et un capteur de courant, ou de couple : [De Frutos 03] compare la vitesse et le couple à des seuils fixés au départ et dépendant du temps. [Gerbetz 01] utilise une mesure du couple pour s'abstraire des perturbations extérieures. De même, [Whinnery 02] utilise les capteurs pour prendre en compte les mouvements de la route. Dans le cas de [Lepine 86], le procédé d'anti-pincement est réalisé sans l'aide de micro-processeur ou de calculateur. La méthode utilisée est alors de comparer une mesure du courant à un seuil pré-déterminé. Le tout est réalisé à l'aide de composants électroniques simples tels que des résistances, des capacités, des diodes, des amplificateurs opérationnels, des transistors et des relais.

De même, il existe des notes industrielles expliquant des méthodes de détection particulières. Par exemple, les notes [Atmel 06a] et [Atmel 06b] expliquent le fonctionnement et la mise en oeuvre de la méthode de détection d'obstacle mise au point par Atmel. Dans ce cas, la détection est réalisée à l'aide d'une mesure du courant et peut être améliorée par une mesure de l'accélération de l'ouvrant. Nous avons aussi l'exemple de ST Microelectronics, [ST 05], qui réalise une détection par comparaison de la puissance entre deux instants.

Il existe encore d'autres méthodes qui sont plus originales et s'éloignent des solutions conventionnelles. Ces méthodes, bien qu'ayant fait l'objet de brevets, n'ont à notre connaissance pas encore été implantées en série sur véhicule. Les brevets [Franzan 06] et [Chale Gongora 06] utilisent avantageusement la régulation en vitesse du procédé pour créer des estimateurs pour la détection. [Schlesiger 06] utilise pour sa part une approche neuronale pour réaliser la détection d'obstacle.

Le principe de détection indirecte, commun à la faible littérature scientifique sur le sujet, est basé sur l'estimation du couple moteur, qui est par la suite comparée à un seuil pour décider de la présence ou non d'un obstacle. Dans les articles de [Lee 05] et [Ra 08], un observateur est créé via un filtre de Kalman ou un filtre synthétisé à l'aide d'une méthode  $H_\infty$ . Par contre, dans les deux cas, l'information capteur étant trop bruitée, celle-ci est filtrée et moyennée pour diminuer l'influence du bruit de mesure sur la détection. Dans l'article de [Caussat 05], un détecteur d'obstacle est créé à partir de la tension et du courant. Pour ce faire, l'article explicite le lien entre la tension et la vitesse de l'ouvrant d'une part, puis le lien entre le courant et le couple sur le moteur à courant continu d'autre part. Ensuite, les problèmes de mesure sont abordés et les différentes notions de filtres et moyennes qui y sont associées. L'anti-pincement est alors réalisé à l'aide d'une comparaison des mesures par rapport à des seuils.

Ce premier état de l'art montre le caractère essentiellement industriel de la littérature disponible sur le sujet. Il existe de nombreux brevets qui utilisent une méthode assez analogue basée sur la surveillance des valeurs mesurées par rapport à un seuil. Ensuite, il existe des différences au niveau de la génération du seuil, de la prise en compte de la valeur mesurée. L'inconvénient de cette littérature est la faiblesse des justifications apportées.

### 1.2.3 Applications

Nous venons de voir qu'il existe plusieurs méthodes de détection qui utilisent différents capteurs, capteur de position, capteur de courant ou capteur de couple et se basent sur des notions différentes, comparaison par rapport à un seuil, estimation de l'effort de pincement, approche neuronale pour une reconstruction de l'effort de pincement. Il existe encore une différence caractéristique des ouvriers pilotés : le principe de commande. En effet, certains ouvriers comme les lève-vitres par exemple pilotent l'actionneur en tout ou rien, et d'autres comme les portes latérales coulissantes motorisées ont besoin d'un pilotage plus précis, une boucle de commande pour l'actionneur est alors mise en place.

#### Les systèmes non asservis

Certains ouvriers possèdent des actionneurs non asservis. Il y a deux raisons principales à ce choix. La première est que les contraintes de déplacement liées à l'ouvrant peuvent être réalisées avec un système non asservi. Si nous prenons le cas d'un lève-vitre, la contrainte de déplacement correspond à une durée maximale et minimale à ne pas dépasser pour le déplacement



de la vitre. Le groupe moto-réducteur est alors conçu de manière à ce que, dans la plage d'alimentation de l'actionneur, la durée de déplacement soit en cohérence avec le cahier des charges. La seconde raison est simplement économique. En effet, il est moins coûteux de piloter un actionneur électrique par un relais que de mettre en place une stratégie de pilotage à commande variable. De même pour un actionneur hydraulique, sur un coupé-cabriolet, une electro-vanne simple sera préférée à une electro-vanne plus complexe. En contrepartie, la commande sera de type tout-ou-rien et elle ne permettra pas un pilotage à commande variable du procédé.

Il faudra alors développer un algorithme d'anti-pincement, assurant la sécurité de l'utilisateur en n'utilisant que des informations à disposition.

### **les systèmes asservis**

En revanche, pour d'autres ouvrants, il peut être nécessaire d'asservir la position et/ou la vitesse de l'ouvrant. Ainsi, dans le cas de la porte latérale coulissante motorisée, il existe une vitesse minimale nécessaire à l'entrée dans la gâche de la porte. De plus, la porte peut être soumise à de très fortes variations des paramètres extérieurs (pente, dévers, etc). Malgré cela, la durée de déplacement doit rester identique pour assurer la qualité du déplacement et de la détection.

La présence d'un asservissement requiert la gestion d'un compromis entre la robustesse et la détection. En effet, le but de l'asservissement est de rejeter toutes les perturbations, même celles en provenance d'un éventuel obstacle. La détection, en revanche, doit être sensible à l'apparition d'un obstacle et ce de manière très réactive, c'est à dire dès l'apparition de celui-ci. De plus, les détections doivent le plus souvent être réalisées dans un environnement bruité.

Nous avons vu ici l'intérêt de l'asservissement pour un ouvrant piloté, à savoir une meilleure qualité de déplacement. En contrepartie, sa présence rend la détection plus délicate. En vue d'une solution à l'architecture générique, il faudra prendre en compte les contraintes liées à l'asservissement dès la conception.

## **1.3 Conclusion**

Conformément au positionnement décrit dans cette introduction, les travaux présentés ici s'attacheront à développer une méthode d'anti-pincement générique basée sur une approche indirecte. Une telle approche est privilégiée pour une question de coût et de fiabilité de la détection dans le temps.

La méthode visée devra fonctionner aussi bien sur des systèmes non asservis que sur des systèmes asservis. Sa formalisation devra permettre une mise au point la plus rapide possible dans chaque cas particulier d'application. L'idée est de pouvoir réaliser des essais d'anti-pincement au début du projet, en simulation ou sur moyen d'essai. La méthode sera alors utilisée lors des tests en amont projet pour améliorer la qualité du développement, diminuer ses coûts et repérer ainsi, dès le début de la conception de l'ouvrant, les problèmes éventuels liés à garantie de la sécurité de l'utilisateur.

Pour répondre à ce cahier des charges, après ce premier chapitre d'introduction, nous modéliserons dans un second chapitre les ouvrants utilisés. Cette phase est importante car elle permet de réaliser des essais en simulation qui sont représentatifs des essais sur moyen physique. De plus, ceci nous permet de mieux comprendre le fonctionnement des ouvrants, ce qui est nécessaire pour le bon développement d'une méthode d'anti-pincement.

Dans un troisième chapitre, nous étudierons une famille d'applications particulière, à savoir les systèmes non asservis, en insistant sur le cas particulier du lève-vitre électrique. Cette application est présente sur quasiment tous les véhicules. Son fonctionnement est relativement simple et de nombreux brevets industriels existent sur ce sujet. L'intérêt va être alors de formaliser une méthode de détection et d'en réduire son temps de développement.

Puis, dans un quatrième chapitre, nous étudierons la problématique associée à la détection en boucle fermée. En effet, celle-ci pose des difficultés particulières dans la mesure où l'asservissement tend à diminuer l'effet de la perturbation sur la grandeur mesurée. Il faut donc mettre en place une stratégie spécifique.

Ensuite, dans un cinquième chapitre, nous mettrons en application les méthodes précédentes sur les systèmes asservis.

Pour finir, nous conclurons sur les travaux réalisés et nous ouvrirons la problématique sur le futur.

# Chapitre 2

## Description de l'application

### Sommaire

---

<b>2.1</b>	<b>La description d'un ouvrant piloté automobile . .</b>	<b>28</b>
2.1.1	Description LVE . . . . .	30
2.1.2	Description PLCM . . . . .	39
<b>2.2</b>	<b>Le modèle simplifié . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>2.3</b>	<b>La modélisation de l'obstacle . . . . .</b>	<b>50</b>
<b>2.4</b>	<b>La mesure par un capteur à impulsions . . . . .</b>	<b>52</b>
2.4.1	Le capteur à effet Hall . . . . .	53
2.4.2	La roue codeuse . . . . .	54
<b>2.5</b>	<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>55</b>

---

Pour la mise en oeuvre, le développement et la validation d'une architecture de commande, il est nécessaire de disposer d'un modèle de simulation fiable et précis, tout en connaissant ses limites de validité.

En effet, avant de valider les méthodes de détection sur des moyens réels, il est intéressant, voire même obligatoire, de tester les méthodes en simulation. Les moyens d'essais sont souvent des prototypes pour lesquels les pièces sont coûteuses et difficilement disponibles. Il est donc nécessaire de sécuriser au maximum les essais, afin d'éviter tout endommagement du matériel. De plus, la simulation est un outil important pour valider la robustesse des algorithmes, puisqu'elle permet de simuler les différentes dispersions paramétriques rapidement.

Enfin, la connaissance du système sur lequel nous allons intervenir est importante. Elle permet de mieux comprendre les phénomènes présents et d'anticiper les difficultés liées à une technologie ou à un mécanisme précis. Pour ce faire, la description de l'ouvrant et de la chaîne d'acquisition qui lui est liée est nécessaire au développement des méthodes de détection. Par exemple, ceci nous permettra de prendre en considération le maximum d'information présente dans le signal capteur, ou les conditions sous lesquelles un impact avec un obstacle est visible directement sur l'actionneur.

De même, la disponibilité d'un modèle linéaire de l'ouvrant est intéressante pour la mise au point d'un asservissement. De plus, si ce modèle ne dispose que d'un nombre restreint de paramètres, il sera facilement identifiable, donc sa mise au point et son développement n'en seront qu'accélérés.

De plus, l'obstacle est un élément important de notre système. Donc la connaissance de celui-ci, que ce soit d'un point de vue réglementaire ou pratique, est importante pour la mise en place de stratégies performantes.

Enfin, une bonne connaissance des capteurs utilisés est elle aussi importante pour utiliser au maximum les informations disponibles.

## 2.1 La description d'un ouvrant piloté automobile

Il existe une trame générique aux deux grandes familles d'ouvrants que nous allons étudier ici, les lève-vitres séquentiels (Fig. 2.1) et les portes latérales coulissantes motorisées (Fig. 2.2).

Initialement, la puissance provient de la batterie ou de l'alternateur en fonction de l'état de fonctionnement du moteur thermique. Cette énergie est par la suite transmise à un moteur électrique à courant continu via une électronique de puissance dédiée. La vitesse de rotation du moteur est réduite

à l'aide d'un réducteur, dans le but d'augmenter le couple disponible pour déplacer l'ouvrant. L'ensemble moteur électrique et réducteur est souvent appelé moto-réducteur ou groupe moto-réducteur. La sortie du réducteur est en prise directe avec un tambour, sur lequel s'enroulent et se déroulent les câbles qui servent à entraîner l'ouvrant. Le déplacement s'effectue selon une trajectoire précise à l'aide de coulisses qui servent au guidage de l'ouvrant. Les coulisses seront spécifiques à chaque ouvrant : les lève-vitres utilisent des joints et les portes latérales coulissantes se déplacent à l'aide de rails et galets mobiles.

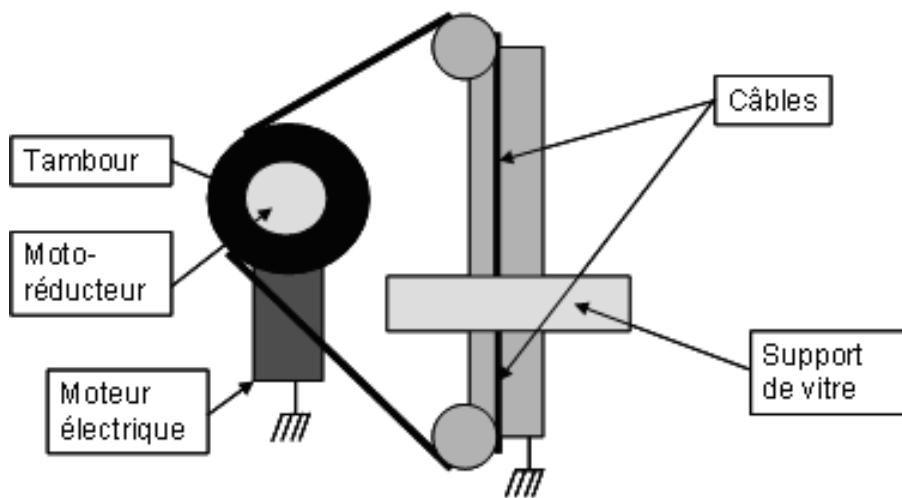


FIG. 2.1 – Exemple d'un lève-vitre.

Nous venons de voir une description très générale du fonctionnement d'un ouvrant. Des modèles complets, [Turbiez 08] et [Chavanne 07], ont été développés à l'aide de Matlab/Simulink et ils prennent en compte le maximum de phénomènes physiques liés au déplacement de l'ouvrant. Ils servent de représentation du système physique dans les phases de développement et de simulation. Avec ces modèles, des stratégies de commande, des principes de détection peuvent être testés virtuellement. Pour ce faire, les modèles développés sont validés et recalés par rapport aux systèmes physiques [Guillemard 06]. Par la suite, le modèle complet représentera l'ouvrant lors des études en simulation.

Pour réaliser tout ceci, le modèle complet prend en compte les différents éléments suivants :

- la géométrie de l'ouvrant,
- l'interface avec la voiture,
- les points de contact entre les éléments mobiles et les éléments fixes,

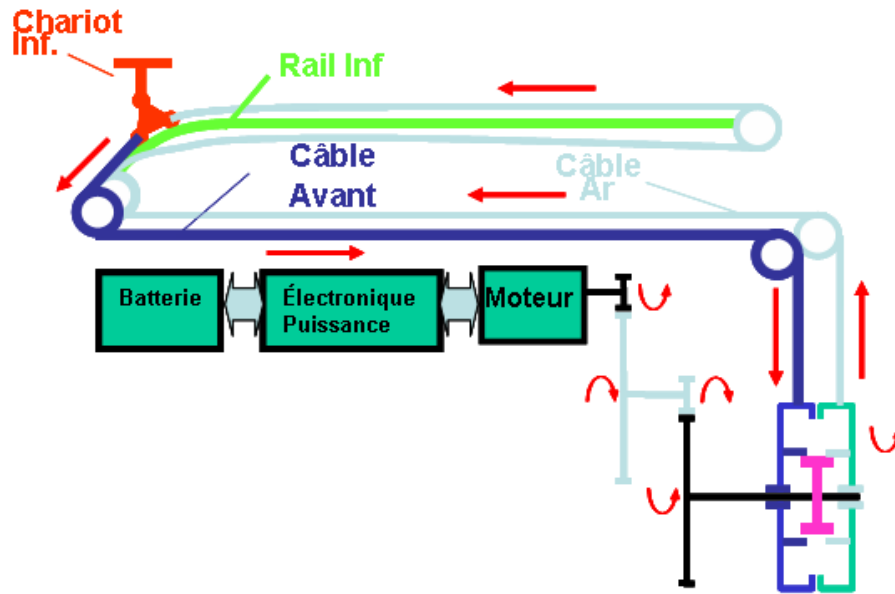


FIG. 2.2 – Exemple d'une porte latérale coulissante motorisée.

- les frottements dus aux différents points de contact,
- les frottements et amortissements de la chaîne d'actionnement,
- l'interface avec l'extérieur comme la pente et le dévers,
- la position et la raideur de l'obstacle.

Le modèle complet d'un ouvrant décrit précisément le niveau de connaissance de l'ouvrant et fait partie intégrante des compétences de ses concepteurs. Il est alors hautement stratégique et confidentiel. Pour ces raisons, la modélisation de l'ouvrant dans son ensemble ne sera pas détaillée.

Cependant, dans les parties 2.1.1 et 2.1.2, nous donnons une description plus précise des ouvrants considérés dans cette étude. Ces descriptions montrent certaines instationnarités et non-linéarités présentes sur les ouvrants. En effet, la graisse lubrifiant le groupe moto-réducteur d'un lève-vitre, tout comme le système de tensionnement des câbles sur une porte latérale coulissante provoquent des perturbations sur le système, qu'il faut appréhender au mieux lors de la conception des méthodes de détection.

### 2.1.1 La description détaillée d'un lève-vitre électrique

Nous pouvons trouver dans la littérature des éléments pour la modélisation, l'identification et le recalage d'un modèle de lève-vitre électrique. Les travaux de modélisation de certains sous-ensembles du lève-vitre ont fait l'ob-

jet de publications. De nombreux articles traitent d'un point en particulier de la modélisation. Par exemple dans [Chang 95], une méthode pour générer la trajectoire de la vitre en fonction de la géométrie du véhicule est proposée. Ou alors, dans [Prabhu 01], on met en avant l'utilisation de la chaîne complète Matlab / Simulink / SimMechanics / Stateflow / TargetLink pour valider la fonctionnalité d'un lève-vitre électrique. Un modèle mécanique du lève-vitre est esquissé, mais sans détail ni procédure de validation expérimentale.

Il est alors nécessaire de décomposer le système en sous-systèmes pour l'étudier de manière plus précise.

### La décomposition en sous-systèmes

La modélisation complète d'un ouvrant est intrinsèquement liée à la vision de son concepteur. La modélisation est en fait une adéquation entre la connaissance physique du système modélisé et la possibilité de pouvoir identifier et recalibrer les paramètres dudit modèle. Les travaux présentés ici sont issus d'une note interne décrivant la modélisation complète d'un système de lève-vitre électrique, [Turbiez 08]. Celui-ci est composé d'une vitre, guidée par le mécanisme de lève-vitre (curseur, rail), et par différentes coulisses, ainsi que d'une chaîne d'actionnement, permettant la motorisation de la vitre, Fig. 2.3.

La vitre est guidée par :

- un certain nombre de joints fixés sur la porte (coulisses avant, arrière et supérieure, lècheurs intérieur et extérieur, guides coulisses avant et arrière),
- le mécanisme de lève-vitre, constitué d'un curseur mobile le long d'un ou deux rails (Fig. 2.4).

Il existe deux technologies de guidage, le système pouvant être mono-rail, ou double rail. Le choix mono ou double rail dépend de la nature de la vitre, de ses dimensions et de son poids.

Nous noterons que le rail décrit une hélice telle que :

- l'axe de déplacement principal de la vitre ne correspond pas à l'axe Z véhicule,
- le rail et la vitre sont galbés.

La chaîne d'actionnement permet d'entraîner le curseur le long du rail. Elle est constituée :

- d'un moteur à courant continu,
- d'un réducteur à roue et vis sans fin (l'axe moteur constituant la vis),
- d'un tambour entraîné par la roue, et sur lequel viennent s'enrouler les câbles supérieur et inférieur, reliés au curseur via un système de poulies.

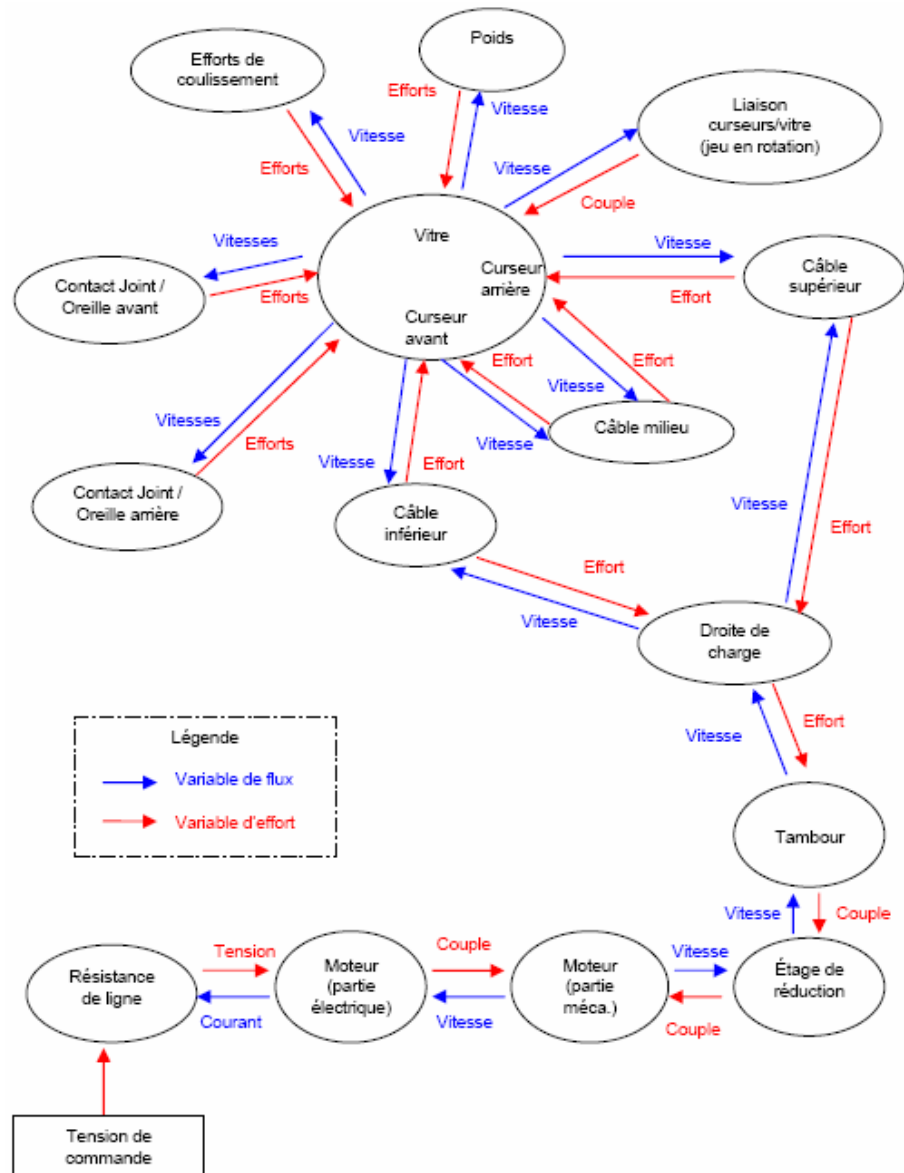


FIG. 2.3 – Décomposition du lève-vitre en sous-systèmes.



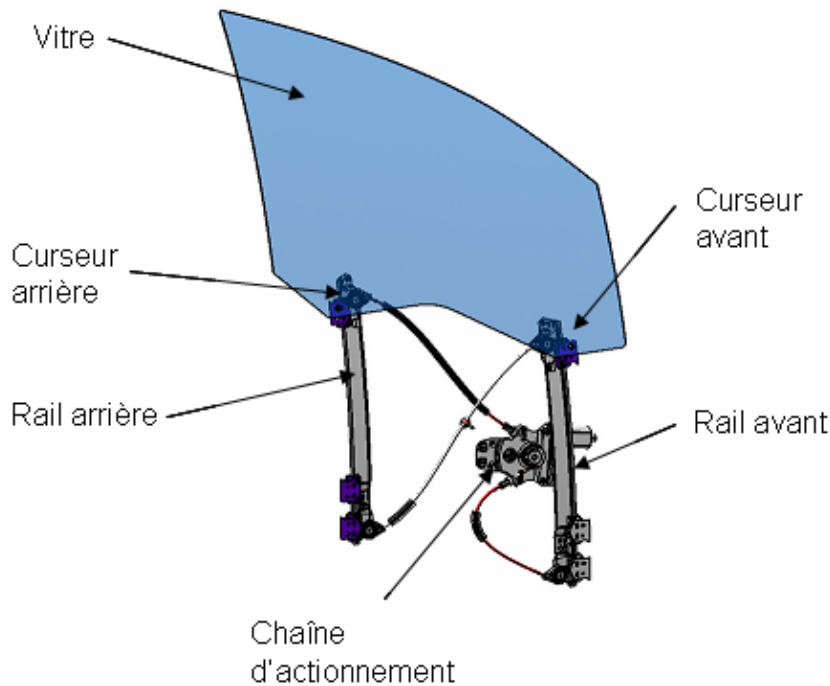


FIG. 2.4 – Exemple d'un mécanisme double rail de lève-vitre électrique.

La méthodologie de modélisation est basée sur l'approche Bond-Graph, [Borne 92], [Dauphin-Tanguy 99], [Margolis 01], qui consiste à décomposer un système en différents phénomènes élémentaires, qui interagissent entre eux par des liens de puissance effort/flux, quel que soit le domaine physique concerné.

Ce type de démarche permet ainsi de :

- fixer l'architecture globale du système, en ayant une vision globale du système et des interactions entre les sous-systèmes,
- identifier les phénomènes à prendre en compte et répertorier ainsi au plus tôt les paramètres nécessaires,
- définir les causalités entre les différents composants et ainsi identifier les éventuelles boucles algébriques pour les résoudre.

Nous pouvons alors décomposer le lève-vitre en sous-systèmes, conformément à la Fig. 2.3. La chaîne d'actionnement est présentée au bas de cette figure. Puis, on trouve l'interface entre la chaîne d'actionnement et la vitre, qui est réalisée par le tambour et les câbles. Enfin, il y a les différents éléments qui constituent le mécanisme de lève-vitre.

Maintenant que le système de lève-vitre a été décrit, nous allons voir quels sont les phénomènes prépondérants qui interviennent sur ce système.

### Phénomènes prépondérants

**Analyse du moto-réducteur** Une étude de sensibilité du système physique de LVE a été réalisée par nos soins. En effet, nous avons remarqué qu'après de multiples manoeuvres, accompagnées d'un échauffement probable, la vitesse de déplacement de l'ouvrant augmente. Ceci va à l'encontre d'une première idée qui est de considérer que la vitesse de déplacement de l'ouvrant doit diminuer avec l'échauffement en raison d'une perte d'efficacité du moteur électrique [Louis 02]. En effet, la résistance interne augmente et la force contre électromotrice diminue, donc à une tension d'alimentation égale, la vitesse de rotation est moindre. Si nous notons  $\Delta t_n$  une image de l'inverse de la vitesse de rotation, nous devrions observer un  $\Delta t_n$  plus faible à froid qu'à chaud. Or, après avoir réalisé l'enregistrement de la position et du  $\Delta t_n$  au cours de multiples manoeuvres, nous observons, Fig. 2.5, l'inverse, avec même un écart de l'ordre de 10%. La température de la culasse du moteur électrique a été estimée pour chaque manoeuvre, ce qui nous a permis de classer les différentes acquisitions.

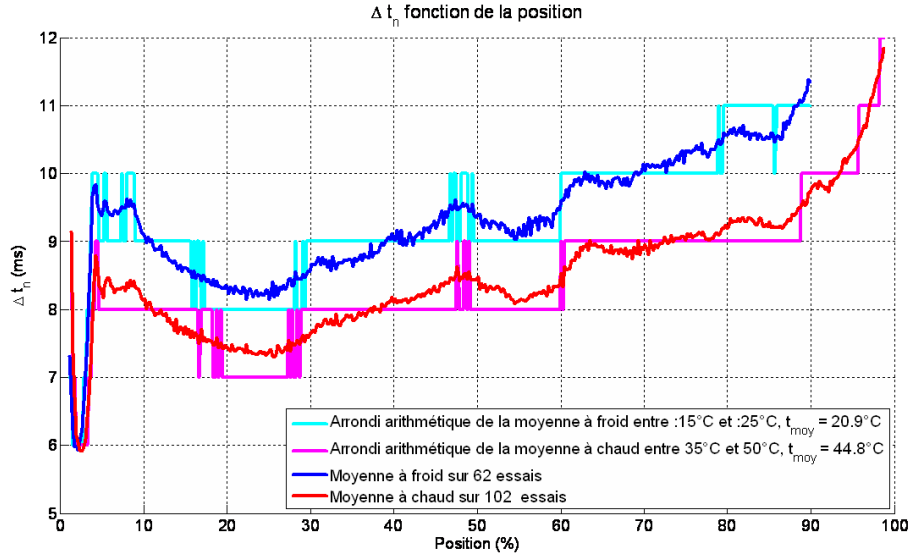
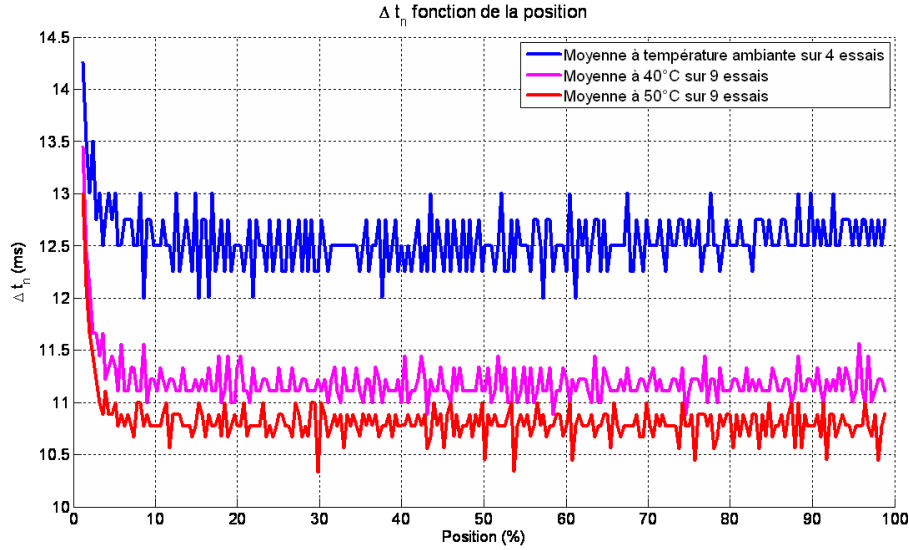


FIG. 2.5 – Variation de  $\Delta t_n$  fonction de la température.

A partir de ce constat et des conclusions de [Kim 00], l'étude de l'influence de la température sur le groupe moto-réducteur seul a été réalisée. Pour ce faire, le groupe moto-réducteur a été retiré du système complet, puis placé dans une enceinte climatique. Il a été chambré plusieurs heures à différentes températures, puis il a été testé dès sa sortie, Fig. 2.6.

FIG. 2.6 – Variation de  $\Delta t_n$  fonction de la température, moto-réducteur seul.

Cette fois-ci, Fig. 2.6, l'intervalle de temps,  $\Delta t_n$  est plus constant lors du déplacement. Effectivement, le groupe moto-réducteur n'étant pas raccordé au reste du système, il n'y a pas de raison que la vitesse de rotation du moteur électrique ne soit pas constante. Par contre, nous voyons clairement apparaître l'influence de la température. Plus la température du groupe moto-réducteur est élevée, plus l'intervalle de temps,  $\Delta t_n$  est faible, donc plus le moteur tourne vite. Ceci peut, en partie, être expliqué par les lubrifiants contenus dans le réducteur. En effet, ces éléments ne sont pas facilement accessibles et ne peuvent donc pas recevoir d'entretien particulier. Il est donc nécessaire, que les lubrifiants présents au montage du réducteur soient opérationnels pendant toute la durée de vie du véhicule. Généralement, les fabricants de réducteur utilisent donc une graisse épaisse et dense pouvant tenir la durée de vie du véhicule.

Nous voyons alors que le groupe moto-réducteur est instationnaire sur une longue échelle de temps, plusieurs minutes. Le groupe moto-réducteur est un élément indivisible et c'est sa conception même qui engendre l'instationnarité. De plus, lors du développement des méthodes de détection, il sera important de prendre en compte ses diverses variations qui peuvent être observées sur un système de lève-vitre électrique, lors de multiples manoeuvres ou si le véhicule est stationné en plein soleil, par exemple.

**Les joints** L'état de l'art décrit les joints comme un point important de la modélisation. Par exemple, dans [Kim 05], un modèle physique du joint est réalisé, pour expliquer le *grincement* au-delà de 2kHz que produit une vitre arrosée dans ses joints. Le développement mathématique fin permet de reproduire en moyenne le spectrogramme relevé en expérimentation. De même dans [Stenti 04], une modélisation par éléments finis des joints est réalisée dans le cas du contact de la porte avec la carrosserie. Le modèle décrit une courbe non-linéaire effort - déplacement du joint qui est recalée sur des expérimentations. Par la suite, une analyse modale du système en incluant un modèle masse - ressort - amortisseur est réalisée pour détecter les modes résonants.

De même dans [Vola 99], des travaux supportés par Renault proposent une modélisation par éléments finis du mouvement de la vitre sur ses joints avec prise en compte du frottement sec. L'analyse des valeurs propres du système dynamique montre l'oscillation possible en haute fréquence (de l'ordre de 3kHz) de la vitre en mouvement avec frottements secs. Malgré tout, les paramètres du modèle ne semblent pas issus de caractérisations physiques des joints.

Nous allons détailler un peu plus ce point spécifique et plus précisément les efforts de coulissement qui y sont associés (Fig. 2.7). En effet, à partir des longueurs des différentes coulisses et lècheurs en prise avec la vitre (Fig. 2.8) et des efforts de coulissement correspondants, le torseur des actions de coulissement sur la vitre peut être calculé.

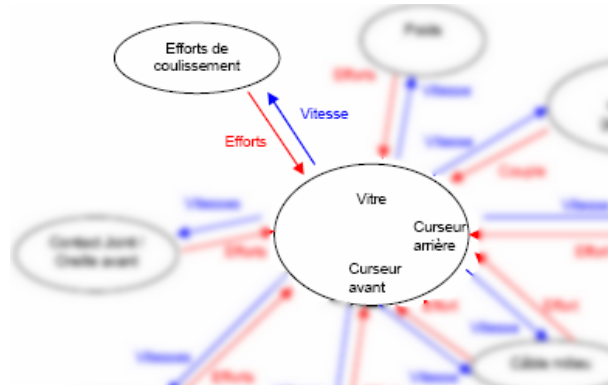


FIG. 2.7 – Les efforts de coulissement.

Il faut connaître à chaque instant la longueur de la vitre en prise avec chaque joint. Le terme joint est un terme générique qui désigne aussi bien les lècheurs que les coulisses. Nous voyons d'ailleurs sur la Fig. 2.8 une définition des différents joints qui sont présents dans un système de lève-vitre :

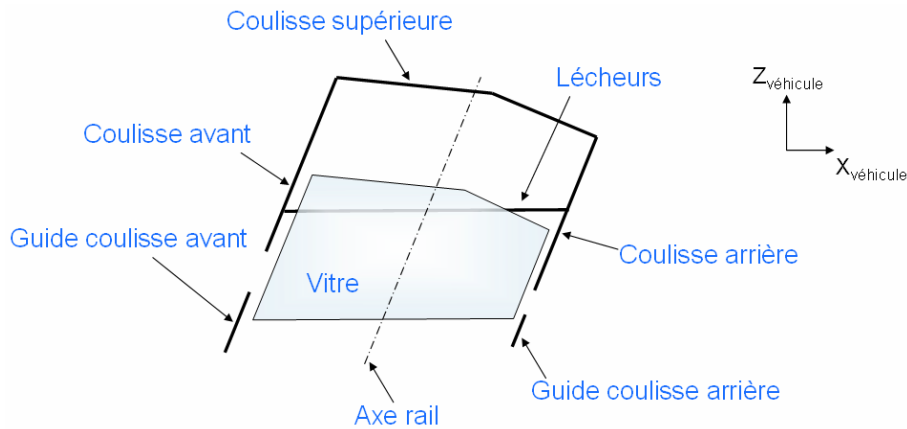


FIG. 2.8 – Détails des joints d'un lève-vitre électrique.

- la coulisse supérieure (joint sur la butée haute de la porte, c'est le dernier joint dans lequel entre la vitre lors d'une montée),
- la coulisse avant (joint visible dans l'encadrement de la vitre sur sa partie avant),
- la coulisse arrière (joint visible dans l'encadrement de la vitre sur sa partie arrière),
- le guide coulisse avant (joint optionnel, non visible, situé dans la portière, qui n'est pas nécessairement en contact avec la vitre),
- le guide coulisse arrière (mêmes caractéristiques que le précédent),
- les lécheurs (joint présent à l'embase de l'encadrement de la vitre).

A l'aide de la géométrie de la vitre, il est possible de connaître à tout instant la longueur de la vitre en prise avec chaque joint. Ensuite, la connaissance de la température nous permet de corriger au mieux les efforts de coulisement.

Dans le cas des coulisses et guides coulisses avant et arrière, l'effort linéique sec de coulisement du joint est considéré à  $23^{\circ}C$ , tout comme l'amortissement visqueux linéique de coulisement. L'effort linéique de coulisement (sec et visqueux) du joint considéré à la température du véhicule est alors la somme de l'effort linéique sec avec le produit de l'amortissement visqueux linéique par la vitesse de la vitre au point de contact considéré. Le résultat est pondéré par le coefficient thermique qui est considéré comme identique pour les frottements sec et visqueux, dans le cadre de l'étude.

Pour la coulisse supérieure et les lécheurs, le principe est identique avec une distinction supplémentaire, le sens de déplacement de la vitre. En effet, de par la conception de ces joints, les efforts ne sont pas les mêmes selon que

la vitre monte ou descend.

La Fig. 2.9 représente la modélisation des différents joints et leurs influences respectives sur le système. Nous remarquons la technique de modélisation employée qui consiste à représenter les efforts en leurs points de contact et ensuite à les transporter en un point commun.

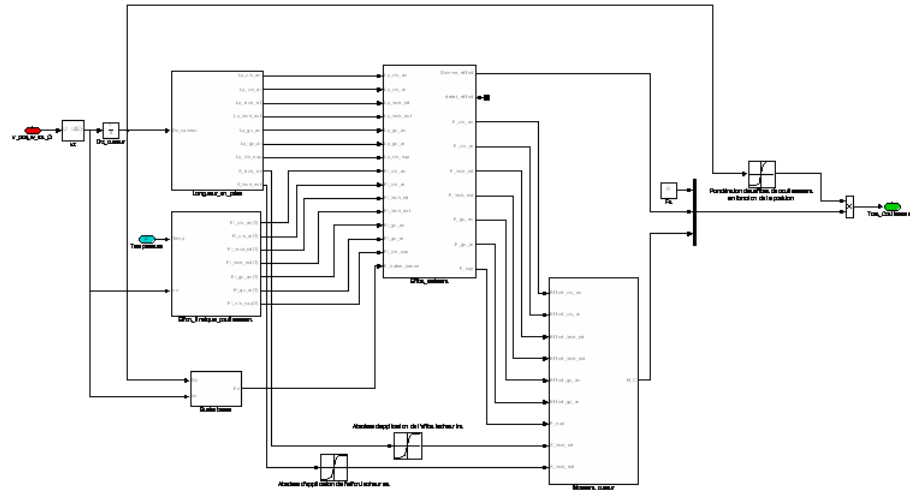


FIG. 2.9 – Modélisation des joints du LVE.

La prise en compte des joints et de leurs caractéristiques est un élément important dans la modélisation d'un lève-vitre. En effet, les efforts non-linéaires provoqués par les joints sont des facteurs perturbateurs à prendre en considération lors du développement des méthodes de détection, tout comme l'instationnarité de fonctionnement liée à la température, aux dispersions et au vieillissement.

## Conclusion

Dans cette partie, une description plus détaillée du lève-vitre a été réalisée. Cette description nous a montré que le système de lève-vitre peut voir ses paramètres varier, en général faiblement, d'une expérience à l'autre, à cause du groupe moto-réducteur entre autre. Ce système est par ailleurs non linéaire, à cause de la longueur des joints en prise avec la vitre. Ces éléments sont importants à prendre en compte pour synthétiser une méthode de détection adaptée.

### 2.1.2 La description détaillée d'une Porte Latérale Cou-lissante Motorisée, PLCM

La modélisation de la PLCM reprend les mêmes principes que ceux utilisés pour la modélisation du lève-vitre. Bien que la modélisation de la PLCM soit un sujet sensible, certains articles en détaillent une partie comme dans [Caussat 05] où la modélisation du groupe moto-réducteur est expliquée, même si cette partie est déjà largement documentée dans la littérature. Dans d'autres articles comme [Suzuki 00] ou encore [Guillemard 06], la modélisation est décrite dans les grandes lignes sans jamais entrer dans les détails. Par conséquent, la description qui suit s'appuie principalement sur une note interne [Chavanne 07].

Nous pouvons alors décomposer la PLCM en sous-systèmes, Fig. 2.10.

Le système complet se décompose clairement en deux sous-systèmes complexes. Le premier est le sous-système composé de la porte et de sa cinématique, Fig. 2.11. Le second est la chaîne d'actionnement, Fig. 2.12, assurant la motorisation de la PLCM.

#### La porte

La porte est l'élément principal de la PLCM et son comportement dépend fortement de la cinématique et donc de la phase de vie dans laquelle est la porte. Nous distinguons deux phases de vie principales :

- la manoeuvre : elle correspond au mouvement de la porte, aussi bien en ouverture qu'en fermeture,
- la fermeture : elle correspond à l'interaction des éléments liés à la caisse et à la porte.

**La manoeuvre** La phase de manoeuvre met en oeuvre les éléments suivants :

- la porte et ses accessoires associés (lève-vitre, haut-parleur, ...),
- les chariots et leurs galets guideurs et/ou porteurs,
- les rails.

La porte est guidée par trois rails (rails inférieur, milieu et supérieur), grâce à trois chariots (chariots inférieur, milieu et supérieur) en liaison avec la porte et sur lesquels sont montés des galets assurant le guidage avec les rails. La forme des rails induit un comportement non-linéaire du système. En effet, lors de l'approche de la fermeture, la porte vient se plaquer contre le bâti. Les rails ne sont pas rectilignes sur tout le déplacement de la porte. Des ressorts de torsion peuvent être montés autour de l'axe des chariots pour faciliter la fermeture et/ou l'ouverture.

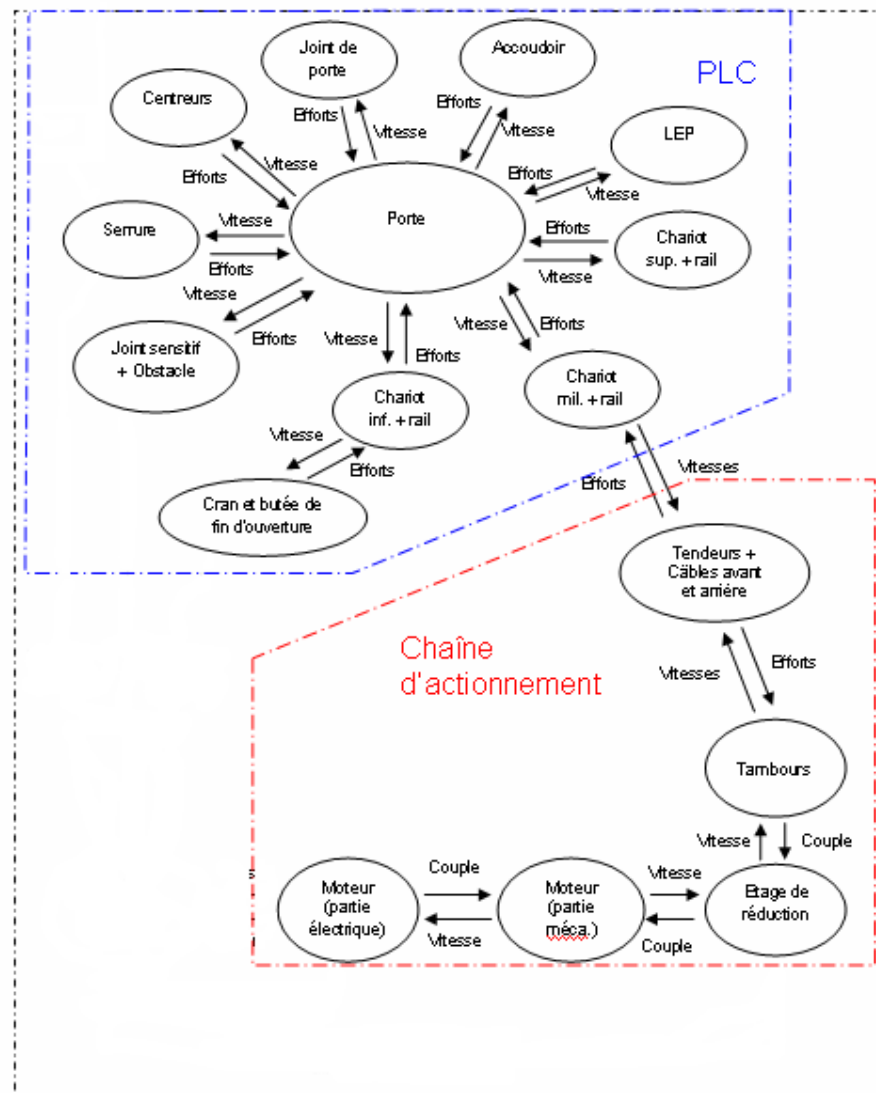


FIG. 2.10 – Décomposition d'une PLCM en sous-systèmes.



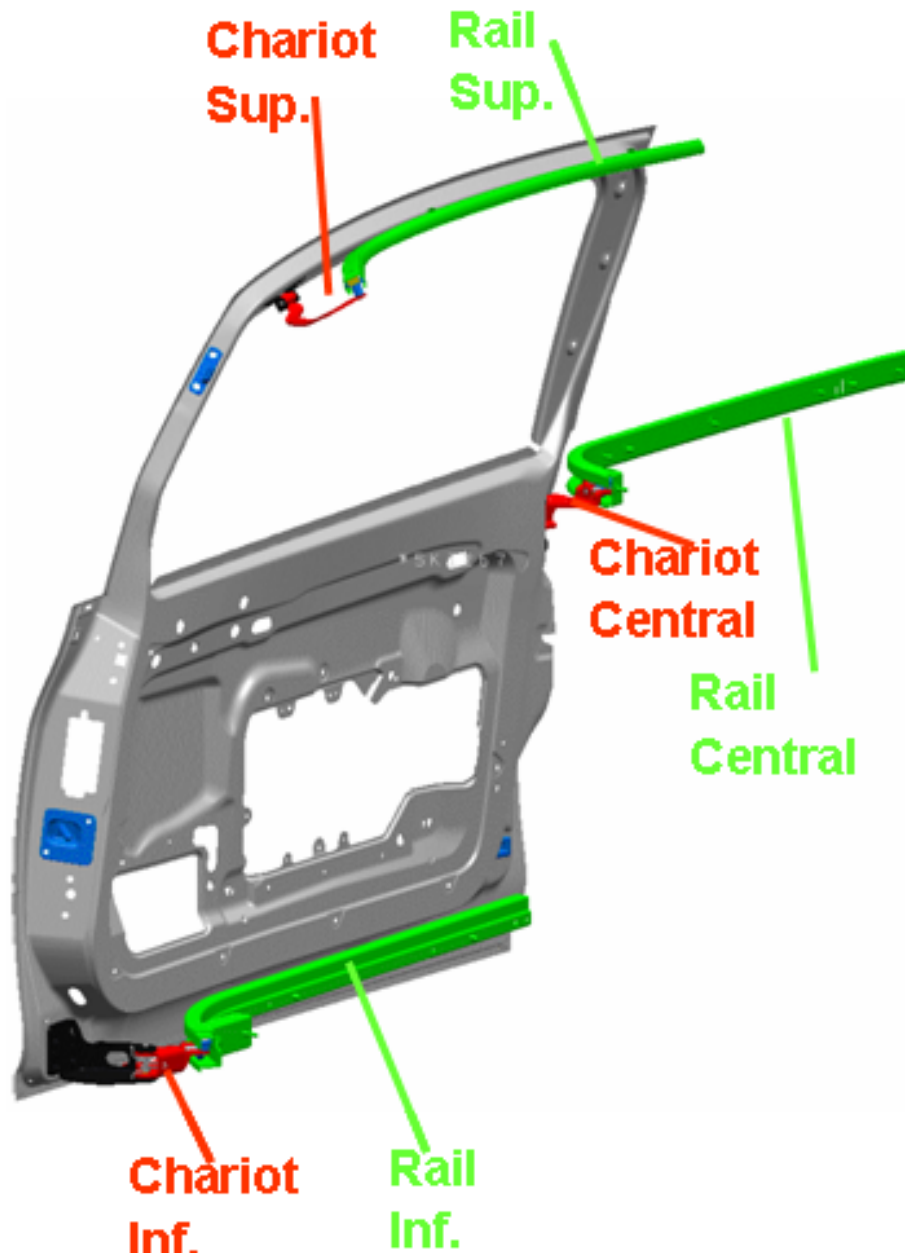


FIG. 2.11 – La cinématique de la PLCM.

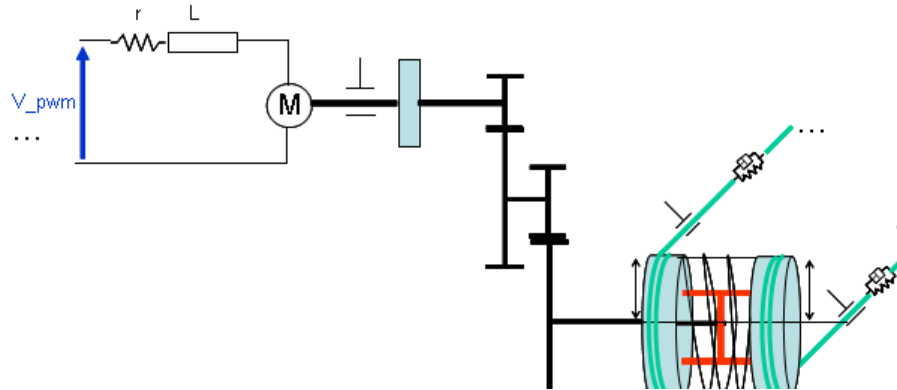


FIG. 2.12 – La chaîne d'actionnement de la PLCM.

Les chariots inférieur et milieu sont en rotation d'axe vertical, en première approximation, par rapport à la porte et comportent :

- deux galets guideurs (avant et arrière),
- un galet porteur.

Le chariot supérieur peut être :

- en rotation d'axe vertical, en première approximation, par rapport à la porte ; il comporte dans ce cas un seul galet guideur,
- fixe par rapport à la porte : il comporte dans ce cas deux galets guideurs.

Les rails inférieur et milieu peuvent être de deux types. Selon leur profil, les frottements secs provoqués par le contact des galets dans le rail sont différents. Avec un rail à profil en :

- U, il n'y a alors qu'un seul point de contact entre le rail et le galet porteur, Fig. 2.13(a),
- V, la prise en compte des mouvement verticaux du galet ne peut être négligée ; il y a alors six points de contact possibles entre le galet porteur et le rail, Fig. 2.13(b).

**La fermeture** La phase de fermeture est importante pour la modélisation, car c'est à ce moment-là que les éléments constituant la porte et ceux constituant la caisse vont interagir.

La phase de fermeture met en oeuvre les éléments suivants :

- Les joints d'étanchéité : lorsque la porte est fermée, elle comprime des joints d'étanchéité qui s'opposent donc à la fermeture. Le joint d'étanchéité principal est monté sur la caisse ; c'est le joint d'entrée de porte.
- Le joint de détection, ou joint sensitif : ce joint permet une détection d'obstacles mais ne doit pas entrer en contact avec la caisse durant la

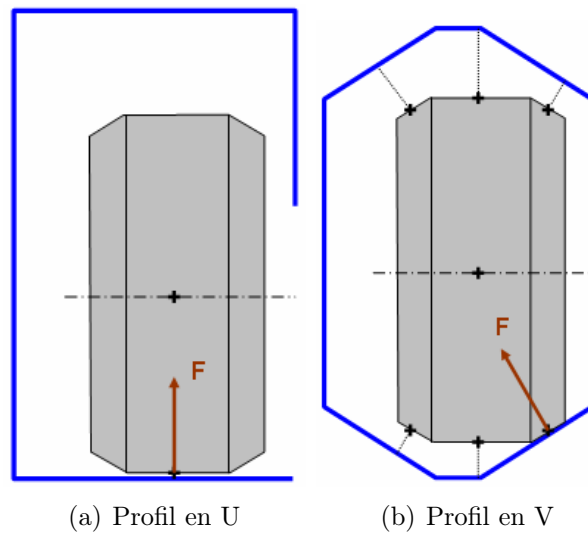


FIG. 2.13 – Différents profils de rails.

manoeuvre.

- Les centreurs : ils sont au nombre de 3 et assurent le bon positionnement de la porte par rapport à la caisse.
- la serrure et la gâche associée : le verrouillage de la porte sur la caisse est assuré par la serrure, montée sur la porte. La serrure vient rencontrer la gâche montée sur la caisse. Cette phase est communément nommée engâchage dans le jargon du métier.

Nous voyons alors que de nombreux frottements secs interviennent dans la modélisation de la porte. De plus, ces frottements secs ont un caractère instationnaire, lorsqu'ils sont provoqués par les joints, ou variable, lorsqu'ils dépendent du profil du rail. Ces éléments seront à prendre en compte pour la robustesse de la détection.

### La chaîne d'actionnement

La chaîne d'actionnement est un ensemble électromécanique monté sur la caisse permettant la mise en mouvement de la porte, via deux câbles attachés sur le chariot milieu de la PLCM.

Elle est composée :

- d'un moteur électrique à courant continu,
- d'un étage de réduction,
- de deux tambours (avant et arrière) liés rigidement sur lesquels sont enroulés les câbles,
- d'un système de tensionnement des câbles par tendeurs,

- de deux câbles,
- d'une roue codeuse.

Le moteur électrique, piloté par une tension, entraîne les tambours via l'étage de réduction.

Les câbles sont enroulés sur le rayon minimal en fin de fermeture et début d'ouverture, afin de diminuer le couple résistant. Ils sont enroulés sur le rayon maximal lorsque la porte est suffisamment ouverte, afin de permettre un déplacement linéaire plus rapide de la porte pour une même vitesse de rotation du moteur. En début de déplacement, le rayon va croître, puis devenir très rapidement constant. Le tambour est donc une fonction non linéaire de la position de l'ouvrant. Ce qui conduit à une non-linéarité dans le déplacement.

Enfin, le système de tensionnement des câbles par les tendeurs est défini Fig. 2.14.

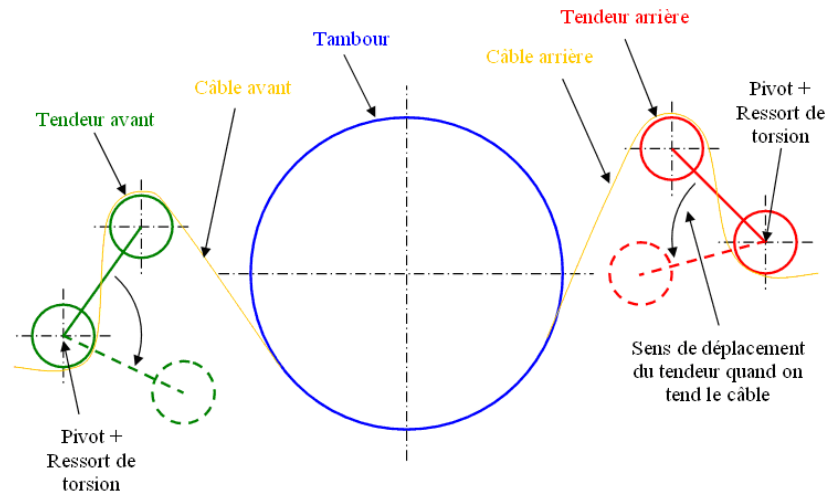


FIG. 2.14 – Système de tensionnement des câbles par les tendeurs.

Ce système, tensionnement des câbles et câbles, engendre la majeure partie de l'élasticité de la chaîne d'actionnement. En effet, les tendeurs vont contraindre les câbles. L'avantage sera que la tension des câbles aura toujours une raideur minimale. Les conséquences peuvent être importantes sur le contrôle commande. En effet, la mesure de position est faite en amont des tambours, et donc est une image de la position des tambours, qui diffère de la position de porte en raison de l'élasticité du système à tendeurs, la position réelle de la porte n'étant pas mesurée. A la différence du cas du lève-vitre, la raideur du système est ici mécaniquement contrôlée. Même avec un tel dispositif, la raideur des câbles reste un élément important, car elle perturbe le



## 2.2 Le modèle simplifié

Lors d'une première approche, il est intéressant de disposer d'un modèle linéaire [Mangonneaux 09a] pour synthétiser plus facilement de nouvelles lois de commande ou encore pour développer de nouveaux algorithmes de détection.

A partir de l'étude précédente, une certaine similarité dans la modélisation apparaît entre un lève-vitre électrique et une porte latérale coulissante motorisée. En effet, dans les deux cas, un moteur à courant continu entraîne un réducteur via une électronique dédiée. Ce réducteur est en prise directe avec un tambour, sur lequel s'enroulent et se déroulent les câbles qui servent à entraîner l'ouvrant. Le déplacement s'effectue selon une trajectoire précise à l'aide de coulisses qui servent au guidage de l'ouvrant.

Le schéma bloc de la Fig. 2.16 représente le principe de fonctionnement général d'un ouvrant avec une modélisation de l'obstacle qui sera développée dans la partie 2.3.

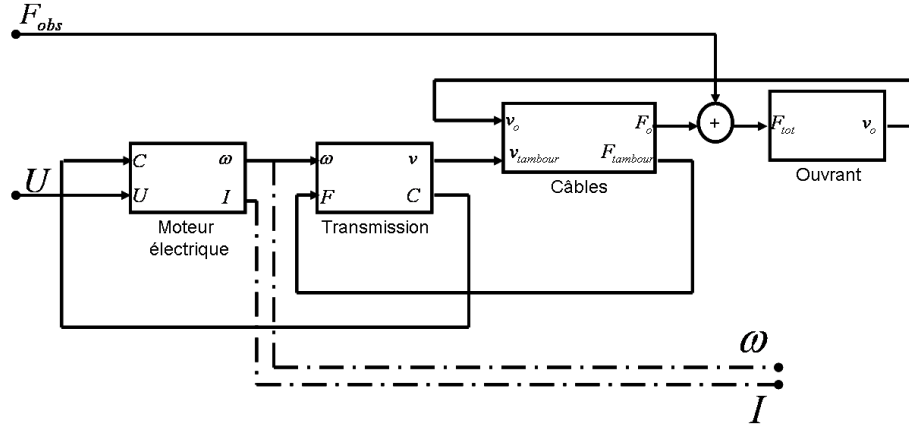


FIG. 2.16 – Schéma bloc du modèle linéaire.

Les différentes variables qui seront utilisées pour la modélisation du système, sont décrites dans le tableau 2.1.

L'équation électrique du moteur électrique s'écrit :

$$U(t) = L \frac{di(t)}{dt} + ri(t) + K_e \omega(t) \quad (2.1)$$

l'équation mécanique du moteur électrique est d'après le principe fondamental de la dynamique en rotation :

$$C(t) + K_c i(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + M_f \omega(t) \quad (2.2)$$

$U$	Tension de commande du moteur électrique
$i$	Courant du moteur électrique (courant d'induit)
$\omega$	Vitesse de rotation du moteur électrique
$C$	Couple résistant lié à l'ouvrant
$v$	Vitesse linéaire des câbles
$F$	Effort résistant lié à l'ouvrant
$v_o$	Vitesse de l'ouvrant
$F_o$	Effort transmis à l'ouvrant par les câbles
$F_{tot}$	Effort total s'appliquant sur l'ouvrant
$F_{obs}$	Effort appliqué sur l'obstacle
$L$	Inductance du moteur électrique
$r$	Résistance du moteur électrique
$K_e$	Constante de force contre électromotrice
$K_c$	Constante de couple du moteur électrique
$J$	Inertie du moteur électrique
$M_f$	Amortissement du moteur électrique
$k_r$	Rapport de transmission entre le moteur électrique et les câbles
$N_c$	Coefficient d'élasticité des câbles
$M_o$	Masse de l'ouvrant
$bt$	Amortissement de l'ouvrant

TAB. 2.1 – Description des variables utilisées

Les équations liées à la transmission et au tambour sont :

$$v(t) = k_r \omega(t) \quad (2.3)$$

$$C(t) = k_r F(t) \quad (2.4)$$

L'équation liée au coefficient d'élasticité des câbles et aux tendeurs est :

$$(v(t) - v_o(t))N_c = \frac{dF_o(t)}{dt} = -\frac{dF(t)}{dt} \quad (2.5)$$

L'équation dynamique de la porte est établie à l'aide du principe fondamental de la dynamique :

$$F_{tot}(t) = M_o \frac{dv_o(t)}{dt} + b_t v_o(t) \quad (2.6)$$

Finalement, l'effort total est la somme des efforts moteur et résistant. Dans notre objectif de simplification, le seul effort résistif pris en compte sera lié à l'obstacle. Nous avons alors :

$$F_{tot}(t) = F_o(t) + F_{obs}(t) \quad (2.7)$$

avec  $F_{obs}(t)$  une entrée du système qui modélise l'effort de l'obstacle sur l'ouvrant.

Ce modèle est certes incomplet, mais il est très simple, comporte un nombre restreint de variables (12) qui sont toutes facilement identifiables et/ou connues de l'utilisateur.

La Fig. 2.17 compare le modèle linéaire au modèle complet, lors d'une manoeuvre d'ouverture fermeture d'une PLCM. Nous avons rajouté en plus un modèle dont la base est le modèle linéaire auquel ont été inclus des frottements secs.

Globalement, le modèle linéaire est assez proche du modèle complet. Bien entendu, certains éléments ont été négligés lors de la simplification, notamment ceux évoqués dans les parties 2.1.1 et 2.1.2. Ceci explique en partie la différence entre le modèle complet et le modèle linéaire. En effet, si un frottement sec moyen, ramené au niveau de l'ouvrant, est ajouté au modèle linéaire, alors la différence est moindre. Le modèle linéaire sera particulièrement adapté si les besoins sont d'ordre dynamique.

En effet, pour garantir la linéarité du modèle les frottements secs du système ont été supprimés. Or, nous voyons clairement sur la Fig. 2.17 qu'il existe un biais important sur la vitesse, de l'ordre de 20%, ainsi que sur le courant, de l'ordre de 50%, entre le modèle complet et le modèle linéaire.



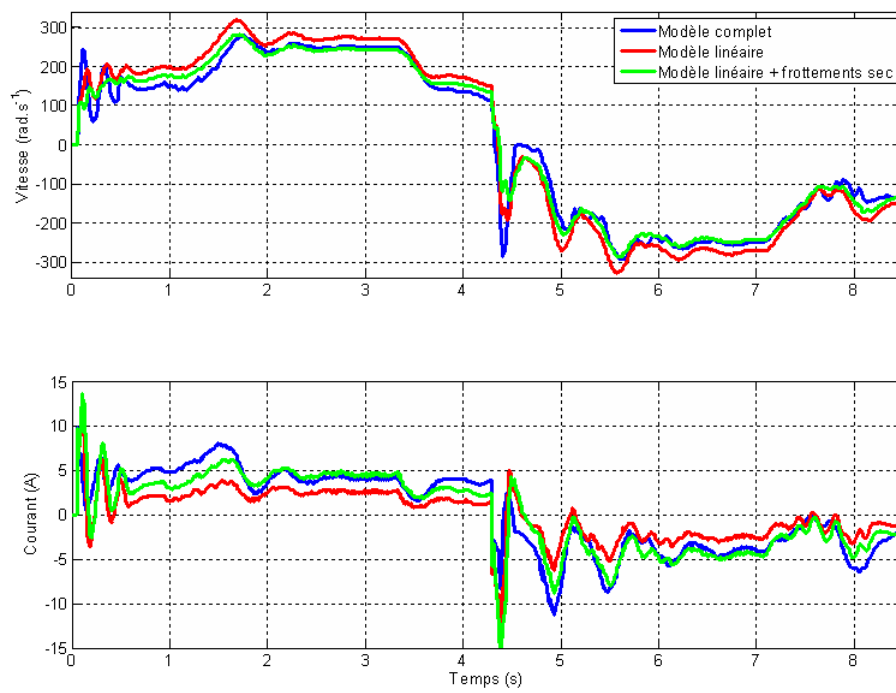


FIG. 2.17 – Comparaison des modèles de PLCM.

En prenant en compte un frottement sec moyen ramené au niveau de l'ouvrant, nous nous apercevons que le biais est moindre. Par contre, le modèle n'est plus linéaire.

La simplification a ainsi généré des écarts importants, mais essentiellement constants, par rapport au modèle complet. Cependant, ceux-ci ne sont pas trop gênants car le modèle linéaire nous servira principalement à synthétiser le correcteur pour l'asservissement de vitesse. Or la présence d'un intégrateur dans le correcteur supprimera l'écart provoqué par ce biais.

En conclusion, le modèle simplifié est supposé suffisant, car le comportement dynamique du modèle est correct, ce qui est important dans notre cas.

## 2.3 La modélisation de l'obstacle

L'obstacle est un élément important du système. En fonction de celui-ci, le comportement de l'algorithme de détection ne sera pas le même. Dans le cas d'un ouvrant piloté automobile, l'obstacle est souvent une main. Il peut également s'agir d'autres parties du corps humain, comme un pied ou une jambe, dans le cas particulier d'une porte latérale coulissante motorisée, mais aussi d'un chargement volumineux. En conclusion, il existe de nombreux types d'obstacles différents avec pour chacun une modélisation particulière.

Cependant, la main, Fig. 2.18, est l'obstacle le plus fréquemment rencontré. Une étude américaine, [Kent 08], étudie le comportement de la main dans le cas d'une agression telle qu'elle peut se produire avec un ouvrant piloté (Fig. 2.19). Les conclusions de l'étude montrent que les os de la main ont une grande tolérance à la rupture, de  $1155N$  pour la deuxième phalange de l'index à  $245N$  pour la troisième phalange de l'auriculaire.

D'une manière générale, nous considérerons que l'obstacle est modélisé par une raideur, conformément à la préconsisation des normes européennes, 2000/4/EC et EEC/74/60, et américaine, FMVSS 118, en vigueur. Ainsi, il est facile de prendre en compte différents types d'obstacles ; il suffit de connaître leur géométrie et leur raideur équivalente. En effet, toutes les normes ont une contrainte de dimension de l'obstacle, pour définir une zone de détection pendant la manoeuvre, et une contrainte de raideur de l'obstacle.

Celui-ci peut alors être modélisé de la façon suivante après l'impact entre l'ouvrant et l'obstacle :

$$F_{obs}(t) = K_{obs}x(t), \quad (2.8)$$

avec  $K_{obs}$  la raideur de l'obstacle et  $x(t)$  la distance de pénétration de l'ouvrant dans l'obstacle.

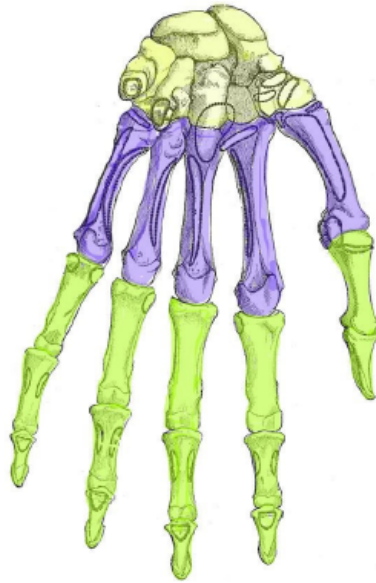


FIG. 2.18 – Squelette de la main. Jaune : carpe, bleu : métacarpe, vert : phalanges.

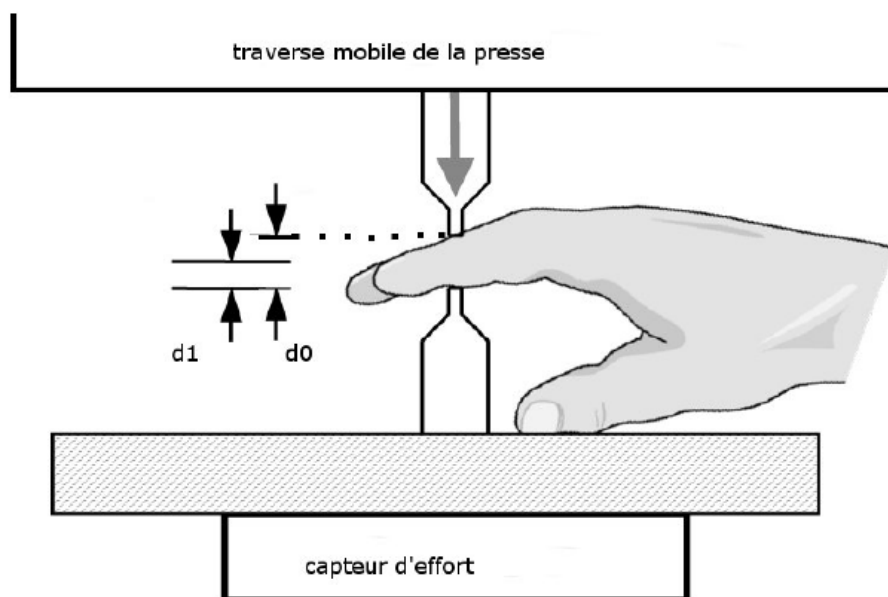


FIG. 2.19 – Montage d'essais utilisé par [Kent 08]

La condition de validité de l'équation (2.8) peut être explicitée en fonction de l'instant d'impact avec l'obstacle et du repère choisi. Sur les Fig. 2.20, la convention choisie est l'origine des positions lorsque l'ouvrant est fermé, et ensuite une croissance positive lors de l'ouverture de l'ouvrant .

Si l'ouvrant s'ouvre, Fig. 2.20, l'équation (2.8) devient :

$$\begin{cases} \text{avant l'impact (Fig. 2.20(a)),} & F_{obs}(t) = 0 \\ \text{après (Fig. 2.20(b)),} & F_{obs}(t) = K_{obs}x(t) \end{cases} \quad (2.9)$$

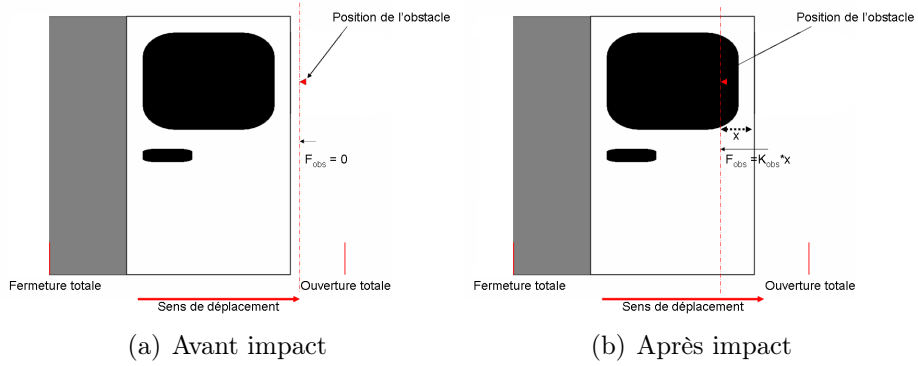


FIG. 2.20 – Exemple de déplacement d'une PLCM avec et sans obstacle.

Pour résumer, l'effort subi par l'obstacle est le produit de la raideur de l'obstacle par la distance de pénétration de l'ouvrant dans l'obstacle. Cet effort s'oppose toujours au sens de déplacement de l'ouvrant.

## 2.4 La mesure par un capteur à impulsions

Il existe deux technologies principales. La première consiste à placer un anneau magnétique sur l'arbre moteur et ensuite un capteur à effet Hall à proximité. La seconde résulte de l'utilisation d'une roue codeuse sur la chaîne d'actionnement couplé à un capteur optique. Cependant, le principe de la mesure par un capteur à impulsions est commun, avec un double échantillonnage de l'axe temporel :

- celui qui définit les instants de calcul, régulièrement espacés dans le temps,
- celui qui définit les instants d'occurrence des impulsions fournies par le capteur (fronts montants), asynchrone par rapport au précédent et irrégulier (dépendant des variations de la vitesse).

Chaque front montant d'une impulsion délivrée par le capteur est pris en compte par le calculateur soit précisément à son instant d'occurrence si ce dernier se trouve être synchrone avec un instant d'échantillonnage de l'algorithme, soit au premier instant d'échantillonnage suivant son instant d'occurrence, donc avec un retard variable, compris entre 0 et une période d'échantillonnage.

### 2.4.1 Le capteur à effet Hall

Le capteur à effet Hall est un capteur de position angulaire. Le capteur fonctionne sur un principe électromagnétique. Les changements de champ magnétique à proximité du capteur sont détectés et ensuite le capteur les retranscrit électriquement.

Pour nos applications, le capteur à effet Hall voyant la rotation d'un anneau magnétique, souvent positionné sur l'arbre moteur, délivre des signaux de sortie impulsions de fréquence directement liée à la vitesse de rotation de l'anneau magnétique. Ce lien dépend du nombre de pôles de l'anneau magnétique, sur la Fig. 2.21 il y a par exemple 6 paires de pôles ; sur un tour, il y aura ainsi 6 passages d'un pôle Nord vers un pôle Sud.

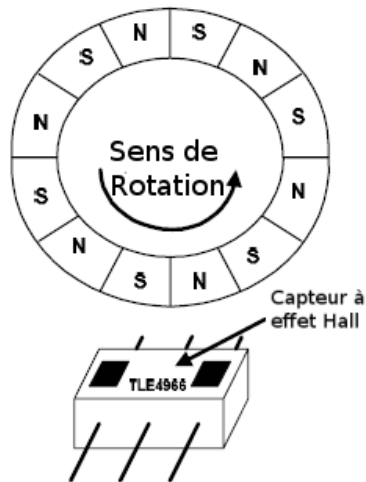


FIG. 2.21 – Capteur à effet Hall et anneau magnétique.

Si le capteur à effet Hall est constitué de 2 éléments de mesure, Fig. 2.21, il est alors possible d'avoir une information supplémentaire, à savoir le sens de rotation de l'anneau magnétique. En effet, en fonction de l'écart physique entre les deux capteurs, qui est connu, et en étudiant le déphasage entre les

signaux provenant de chaque capteur, nous pouvons en déduire le sens de rotation de l'anneau magnétique.

Le capteur à effet Hall donne dans tous les cas une information sur le déplacement angulaire de l'arbre moteur, complétée par une information sur le sens de rotation de l'arbre moteur si il y a deux éléments de mesure. Ce sont ces deux informations qui seront disponibles en cas d'utilisation de ce type de capteur.

### 2.4.2 La roue codeuse

La roue codeuse, si elle est utilisée, remplace le capteur à effet Hall décrit précédemment. Une roue codeuse est constituée d'un disque ajouré tel que représenté sur la Fig. 2.22 et d'un capteur optique.

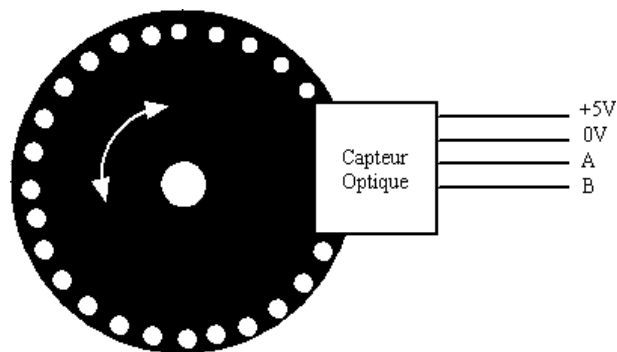


FIG. 2.22 – Schéma de principe d'une roue codeuse.

A la différence d'un capteur à effet Hall, une roue codeuse ne pourra guère être placée sur l'arbre moteur. En effet, le moteur électrique à courant continu est associé à un réducteur, d'où l'expression de moto-réducteur. La roue codeuse est positionnée en sortie du groupe moto-réducteur. En effet, l'arbre moteur est lui encapsulé dans le moto-réducteur et il est donc impensable d'y positionner un capteur.

Par contre, pour avoir une précision identique à celle obtenue avec le capteur à effet Hall, le disque de la roue codeuse devra comporter un grand nombre de trous. En effet, il faudra tenir compte du rapport de réduction pour avoir une image de la rotation de l'arbre moteur.

## 2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, une description générale des principes de fonctionnement des divers ouvrants a été présentée. Ces différents principes nous ont permis de mettre en évidence une modélisation commune à tous les ouvrants, à savoir une source de puissance électrique qui alimente un moto-réducteur, lequel entraîne des câbles qui déplacent l'ouvrant. A partir de ces constatations, nous avons défini une modélisation linéaire simplifiée. Elle nous permettra de réaliser la mise au point des asservissements de vitesse lorsque cela s'avérera nécessaire. Ce modèle comporte deux entrées, la tension de commande et l'effort d'obstacle, et une sortie, la vitesse de rotation de l'actionneur. Par la suite, l'obstacle a lui aussi été modélisé. Son effort résistif est le produit de sa raideur et de la distance de pénétration dans l'obstacle. Il est alors possible de définir un second modèle linéaire comme étant la combinaison du modèle à deux entrées avec la modélisation de l'obstacle. Nous pouvons alors effectuer une comparaison fréquentielle des deux systèmes, Fig. 2.23.

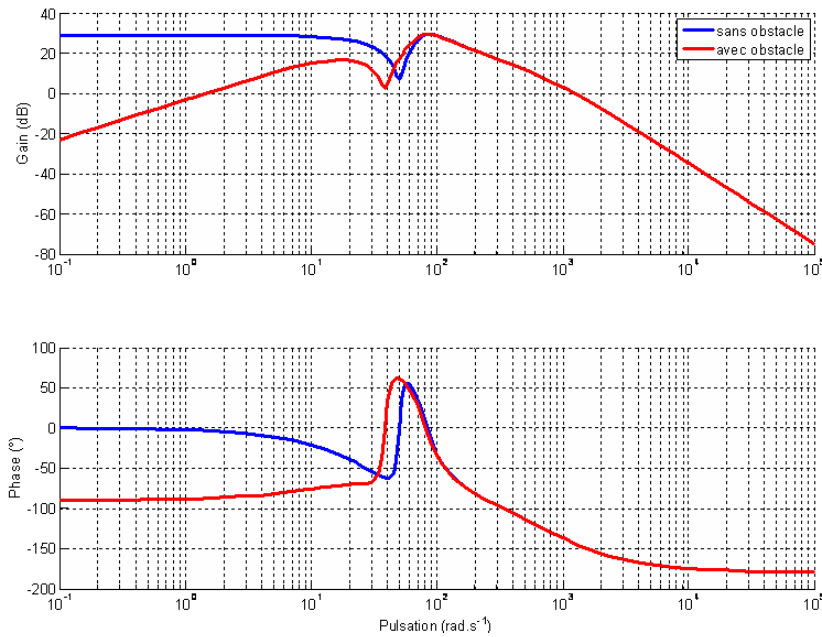


FIG. 2.23 – Diagramme de Bode du modèle linéaire de la PLCM sans et avec obstacle.

Sur le diagramme de Bode des fonctions de transfert du modèle linéaire avec et sans obstacle, de la Fig. 2.23, nous remarquons qu'à partir d'une

certaine pulsation (environ  $80\text{rad.s}^{-1}$ ) les deux fonctions de transfert sont confondues. A partir de l'analyse des modèles linéaires, nous voyons donc que la détection sera plus délicate en haute fréquence qu'en basse fréquence. En effet, le principe de la détection va s'appuyer sur la recherche de modifications dans le comportement du système. Or, en analysant seulement les modèles linéaires, nous pouvons en conclure que la distinction entre les modèles avec et sans obstacle ne peut plus se faire au delà d'une certaine pulsation et donc en deçà d'un temps minimal.

De la même manière, la description détaillée des ouvrants nous a permis de mieux comprendre les phénomènes physiques en jeu dans les systèmes sur lesquels nous allons travailler. Ainsi, à l'aide de la description du lève-vitre, nous avons mis en évidence le lien entre l'obstacle et le capteur. En effet, l'influence de l'obstacle se répercute quasi complètement sur le moteur électrique et donc sur le capteur, ce qui est une condition nécessaire pour la détection.

Nous avons montré qu'il existe une trame générique pour la modélisation d'un ouvrant, la chaîne d'actionnement composée de l'actionneur, du réducteur, puis un système de transmission ici réalisé par des câbles, et enfin l'ouvrant qui peut être ramené à sa masse. L'obstacle est lui aussi générique quel que soit l'ouvrant. Ensuite, des différences existent d'une application à l'autre. Pour un système de type lève-vitre, le groupe moto-réducteur, les joints et la mesure sont les éléments importants et différenciants à maîtriser correctement pour le développement d'une méthode de détection. Pour une porte latérale coulissante, le système de tensionnement et les choix de conception spécifique à chaque PLCM deviennent les paramètres les plus importants pour le développement d'une méthode de détection. De même, les inerties en mouvement sont très différentes ; il peut y avoir un rapport 10 entre le poids d'une vitre et celui d'une porte. Ce détail aura une influence sur l'effort maximum transmis à l'obstacle et particulièrement pendant la phase post-détection et avant la phase de désengagement de l'obstacle.



# Chapitre 3

## Application sans asservissement - le lève-vitre Electrique (LVE)

### Sommaire

---

<b>3.1</b>	<b>Introduction . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>3.2</b>	<b>Principe de la méthode . . . . .</b>	<b>59</b>
3.2.1	La mesure . . . . .	60
3.2.2	Fonctionnement général de la méthode de détection	63
<b>3.3</b>	<b>La génération du bloc <i>estimation</i> . . . . .</b>	<b>67</b>
3.3.1	La méthode de référence . . . . .	68
3.3.2	La nouvelle méthode . . . . .	69
3.3.3	Garantie de la sécurité . . . . .	76
3.3.4	La mise au point de l'algorithme . . . . .	77
<b>3.4</b>	<b>Les résultats [Confidentielle] . . . . .</b>	<b>79</b>
3.4.1	L'architecture de détection . . . . .	80
3.4.2	Les résultats en simulation . . . . .	81
3.4.3	Les résultats expérimentaux [Confidentielle] . . . .	84
<b>3.5</b>	<b>Conclusion [Confidentielle] . . . . .</b>	<b>85</b>

---

### 3.1 Introduction

Le cas de l'application sans asservissement est traité en premier du fait de sa *simplicité*. En effet, avec un système non asservi, la grandeur mesurée pour la détection est plus sensible aux perturbations. La mesure sera, en fonction du capteur et de son positionnement dans la chaîne d'acquisition, une représentation de ce qui est vécu par l'ouvrant.

Ainsi, nous étudierons d'abord le cas du lève-vitre Electrique, LVE. Nous avons respectivement évoqué dans le chapitre 2 les descriptions générale et simplifiée (section 2.2) de cet ouvrant. De plus, le capteur à effet Hall, utilisé pour cette application, a lui aussi été présenté dans le même chapitre (section 2.4.1). D'un point de vue industriel, cette application est intéressante, car quasiment tous les véhicules commercialisés sont équipés de LVE, et une grande majorité d'un système séquentiel doté d'une fonction d'anti-pincement. Les informations disponibles sur le fonctionnement et les particularités de ce système ont déjà fait l'objet d'un nombre important de retours d'expériences.

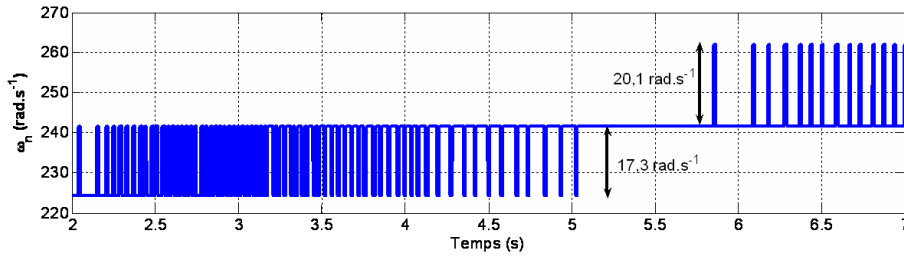
Nous nous focaliserons en priorité sur les méthodes utilisant l'information capteur de manière la plus brute possible.

Comme nous le verrons dans ce chapitre, le signal délivré par le capteur est pauvre en information et bruité. Pour ne pas risquer d'aggraver cette situation par une perte d'information supplémentaire, les méthodes seront basées directement sur le signal issu du capteur.

Pour respecter les normes d'anti-pincement en vigueur aux Etats Unis, l'effort maximum doit être inférieur à  $100N$  pour une raideur d'obstacle de  $20N.mm^{-1}$ . Après impact, l'ouvrant ne doit pas se déplacer de plus de  $5mm$  sous peine de dépasser le seuil d'homologation. Or, un top capteur correspond typiquement à un déplacement de l'ouvrant de  $1mm$ . Nous avons donc au maximum 5 tops pour détecter l'obstacle et enclencher une procédure de désengagement. Ce temps est très court et correspond, généralement, à un temps de détection inférieur à  $75ms$ .

De plus, la Fig. 3.1 représente une mesure réalisée sur un moyen d'essais de la vitesse de rotation du moteur. Nous verrons dans la suite de ce chapitre le principe de construction de cette vitesse. Nous remarquons simplement ici que la vitesse de rotation du moteur est fortement bruitée (de l'ordre de 10% de la mesure).

C'est pour ces raisons (faiblesse de l'information capteur, bruit de la mesure, contraintes fortes sur la détection) que nous n'avons pas envisagé une méthode de détection classique basée sur une architecture comportant, par exemple, un observateur et un générateur de résidu, [Lee 05] et [Ra 08]. En effet, le principal ennemi de ces méthodes est le bruit de mesure. Les gran-

FIG. 3.1 – Mesure de  $\omega_n$ .

deurs d'entrées ne doivent pas être trop bruitées pour permettre une bonne estimation. La mesure est alors filtrée, avec la perte d'information que cela suppose. Nous nous sommes basés sur la connaissance du système et de la chaîne d'acquisition, pour développer une méthode plus appropriée à cette application et surtout à ses contraintes.

L'objectif de ce chapitre est de mettre au point une méthode d'anti-pincement générique à tous types d'applications sans asservissement possédant un capteur à impulsions, dans le but de réaliser, dans une première approche, en simulation ou sur prototype, la fonction d'anti-pincement réglementaire. Cette démarche va s'inscrire dans un processus de qualité visant à lever au plus tôt, durant la phase de conception, les défauts liés à cette problématique. De plus, ceci permettra aux concepteurs d'enrichir leurs compétences, nécessaires à l'élaboration d'un cahier des charges plus complet et plus directif tout en restant réalisable par le fournisseur.

## 3.2 Principe de la méthode

La conception de ces méthodes de détection est le coeur de métier des fournisseurs et par conséquent ces méthodes sont sensibles et très peu décrites dans la littérature. Cependant, à l'aide des nombreux brevets rédigés sur ce sujet et des connaissances internes au groupe PSA Peugeot Citroën, il est possible de formaliser une méthode, certes simplifiée, mais représentant la base des méthodes actuellement utilisées. A partir de cette méthode de référence et de la formalisation du principe de fonctionnement du capteur à impulsions, et de la mesure qui en découle, il est alors possible de développer une nouvelle méthode de détection.

### 3.2.1 La mesure

Le principe de la mesure est très important pour la formalisation des méthodes de détection. En effet, ces méthodes utilisent l'information issue du capteur à impulsions avec le minimum de pertes sur le signal, pour obtenir une réactivité maximale. Il est donc intéressant et nécessaire de prendre le temps de comprendre et d'analyser la chaîne d'acquisition de la mesure [Mangonneaux ].

La période d'échantillonnage est fixée à  $T_e$ . Par la suite, toutes les grandeurs liées à l'intervalle de temps entre deux tops moteur seront exprimées en multiples de  $T_e$  et tous les calculateurs seront cadencés à  $T_e$ , sauf remarque contraire.

Le principe de la mesure est d'associer à chaque événement occurrent à l'instant  $\tilde{t}_n$  une mesure de cet instant,  $t_n$ , qui vaut :

$$t_n = E(\tilde{t}_n) + 1, \quad \text{si } \tilde{t}_n \text{ est un réel,} \quad (3.1)$$

$$t_n = E(\tilde{t}_n), \quad \text{si } \tilde{t}_n \text{ est un entier,} \quad (3.2)$$

où la fonction  $E(x)$  est la fonction partie entière.

La différence entre la mesure et le réel sera alors bornée par :

$$0 \leq t_n - \tilde{t}_n < 1. \quad (3.3)$$

#### Le principe de la mesure et de son biais - illustration par un exemple

Dans un premier temps, le principe de mesure du temps entre deux tops successifs,  $\Delta t$ , sera expliqué à l'aide d'un exemple numérique.

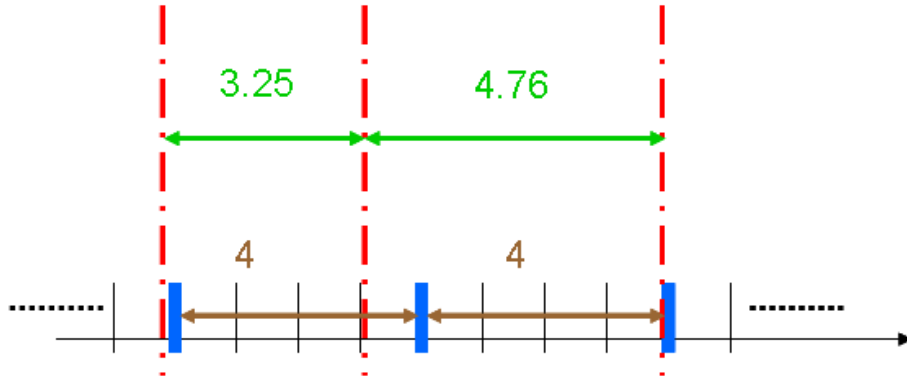


FIG. 3.2 – Exemple numérique de l'estimation du  $\tilde{\Delta t}$ .

Sur l'exemple numérique de la Fig. 3.2, nous pouvons décomposer le principe de la mesure. En rouge (trait mixte fin) figurent les instants d'apparition des tops moteur, en noir (trait continu fin) l'échantillonnage, et en bleu (trait continu fort) les tops moteur échantillonnés.

- Tout d'abord, un premier top capteur arrive, quelques dixièmes de  $T_e$  avant l'instant d'échantillonnage qui correspond au début de la mesure.
- 3,25 après le premier top capteur vient le second. Toutefois, il arrive juste après un instant d'échantillonnage, et il faut attendre quasiment une période pour compter la fin de la mesure.

Dans ce premier exemple,  $\widetilde{\Delta t} = 3.25$ , mais sa mesure nous donne  $\Delta t = 4$ .

Si nous appliquons la méthode au second cas, nous avons cette fois ci,  $\widetilde{\Delta t} = 4.76$ , mais par contre la mesure est identique au cas précédent,  $\Delta t = 4$ .

Nous venons de traiter un exemple de mesure de la valeur  $\widetilde{\Delta t}$ , maintenant formalisons cette mesure.

### La formalisation de la mesure et de son biais

A partir des notations définies Fig. 3.3, et des équations (3.1) et (3.2), l'écart entre 2 occurrences successives est défini par :

$$\Delta t_{n+1} = t_{n+1} - t_n = E(\tilde{t}_{n+1}) + \varphi_{n+1} - E(\tilde{t}_n) + \varphi_n, \quad (3.4)$$

avec,  $\varphi_{n+1} \in \{0, 1\}$  et  $\varphi_n \in \{0, 1\}$ ,

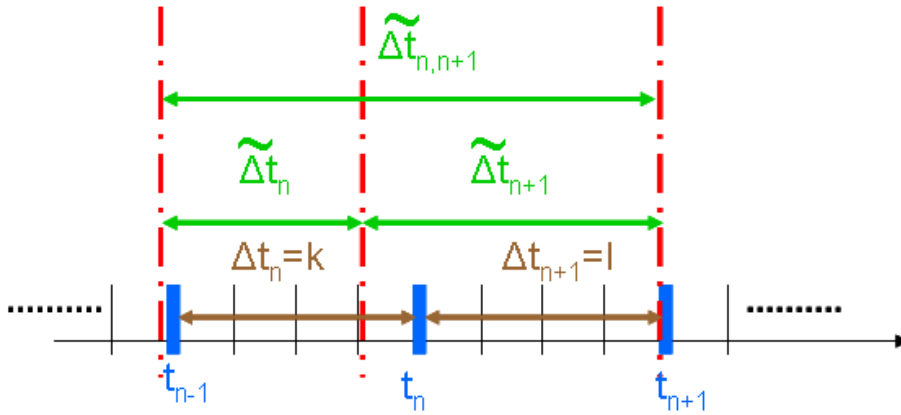


FIG. 3.3 – Mesure du  $\widetilde{\Delta t}$ .

que nous pouvons ré-écrire :

$$\Delta t_{n+1} = E(\widetilde{\Delta t}_{n+1}) + \varphi, \quad (3.5)$$

avec  $\varphi \in \{0, 1\}$  et où  $\widetilde{\Delta t}_{n+1} = \widetilde{t}_{n+1} - \widetilde{t}_n$ .

En effet, l'explication de l'équation (3.5) est basée sur les propriétés suivantes de la partie entière où  $a$  et  $b$  représentent des réels et  $n$  un entier :

$$E(a + n) = E(a) + n, \quad (3.6)$$

$$E(a + b) = E(a) + E(b) + \varphi, \quad (3.7)$$

où  $\varphi$  est un entier égal à 0 ou 1.

Nous devons alors considérer 4 cas :

1. si  $\widetilde{t}_n$  et  $\widetilde{t}_{n+1}$  sont des réels, nous pouvons utiliser l'équation (3.6) pour écrire :

$$E(\widetilde{t}_{n+1}) = E(\widetilde{t}_{n+1} - \widetilde{t}_n) + E(\widetilde{t}_n) + \varphi, \quad (3.8)$$

où  $\varphi$  est un entier égal à 0 ou 1. Et donc, en utilisant l'équation (3.1), nous obtenons bien l'équation (3.5)

2. si  $\widetilde{t}_{n+1}$  est un réel et  $\widetilde{t}_n$  un entier, nous pouvons utiliser l'équation (3.6) pour écrire :

$$E(\widetilde{t}_{n+1}) = E(\widetilde{t}_{n+1} - \widetilde{t}_n) + E(\widetilde{t}_n), \quad (3.9)$$

Et donc en utilisant les équations (3.1) et (3.2) nous avons bien l'équation (3.5) avec  $\varphi = 1$ .

3. si  $\widetilde{t}_{n+1}$  est un réel et  $\widetilde{t}_n$  un entier, nous pouvons utiliser l'équation (3.6) pour écrire :

$$E(\widetilde{t}_{n+1}) = E(\widetilde{t}_{n+1} - \widetilde{t}_n) + E(\widetilde{t}_n) + 1, \quad (3.10)$$

Et donc en utilisant les équations (3.1) et (3.2) nous avons bien l'équation (3.5) avec  $\varphi = 0$ .

4. si  $\widetilde{t}_n$  et  $\widetilde{t}_{n+1}$  sont des entiers, nous avons directement l'équation (3.5) avec  $\varphi = 0$ .

A partir de l'équation (3.5), il est possible de déterminer une mesure pour un  $\widetilde{\Delta t}$  donné.

De même, il est possible de borner l'intervalle de temps réel  $\widetilde{\Delta t}$  par deux entiers. En effet, si la mesure est  $\Delta t_n = k$ , l'intervalle est :

$$k - 1 < \widetilde{\Delta t}_n < k + 1. \quad (3.11)$$

La détection est principalement basée sur la différence entre deux  $\Delta t$  consécutifs. Il est alors intéressant d'examiner l'écart entre la différence mesurée et la différence réelle,  $\widetilde{\Delta t}$ , correspondante. Une limite de cette dernière peut alors être déduite à partir de l'équation (3.11) et donne alors l'équation (3.12) où les notations sont décrites dans la Fig. 3.3 :

$$l - k - 2 < \widetilde{\Delta t}_{n+1} - \widetilde{\Delta t}_n < l - k + 2. \quad (3.12)$$

A partir des définitions précédentes, il est possible de définir la vitesse de rotation de l'arbre sur lequel se trouve l'anneau magnétique. Sur un système type lève-vitre électrique, l'anneau magnétique se trouve généralement directement sur l'axe du moteur électrique. Dans ce cas, la vitesse de rotation du moteur,  $\omega_n$ , peut se définir à partir de l'intervalle de temps mesuré,  $\Delta t_n$ , par :

$$\omega_n = \frac{2\pi}{N\Delta t_n}, \quad (3.13)$$

avec  $N$  le nombre de paire de pôles de l'anneau magnétique.

Cependant, il a été démontré précédemment, équation (3.11), que la mesure d'une valeur identique,  $\widetilde{\Delta t}_n$ , pouvait différer de  $\pm 1$ . Ce qui veut dire que pour un  $\widetilde{\omega}_n$  donné nous avons :

$$\frac{2\pi}{N(\Delta t_n + 1)} < \widetilde{\omega}_n < \frac{2\pi}{N(\Delta t_n - 1)}. \quad (3.14)$$

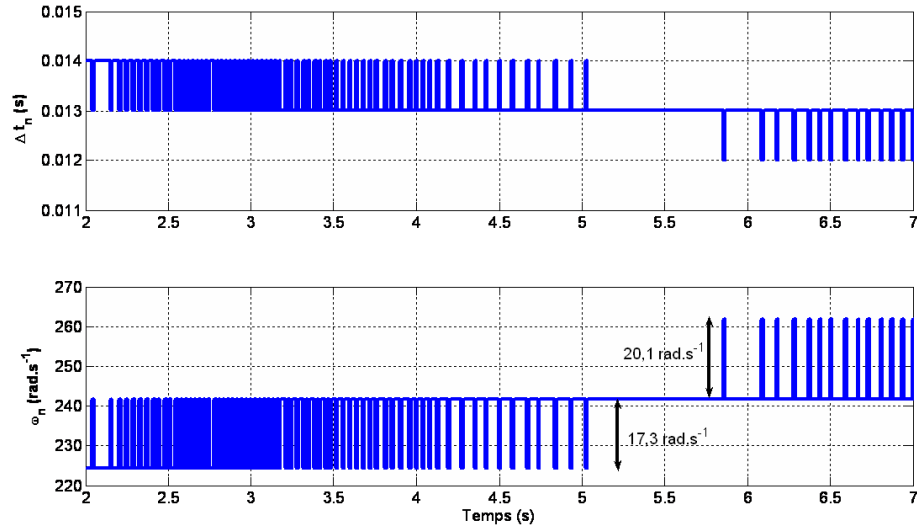
Dans ce cas, l'erreur de mesure ne sera plus linéaire, mais elle sera inversement proportionnelle à la vitesse. Dans l'exemple de la Fig. 3.4, le  $\widetilde{\Delta t}$  est d'environ  $13ms$ , la mesure,  $\Delta t$ , oscille entre 12 et  $14ms$ , l'écart est bien de  $\pm 1$ . Par contre, la mesure de la vitesse de rotation,  $\omega$ , oscille elle de  $-17,3$  à  $+20,1 rad.s^{-1}$  par rapport à une valeur nominale de  $241,7 rad.s^{-1}$ .

Par la suite, pour une question de simplicité dans la prise en compte de cette erreur, relativement importante, nous travaillerons principalement avec les grandeurs liées aux intervalles de temps  $\Delta t_n$ , plutôt qu'avec les vitesses de rotation.

De même, si aucune précision contraire n'est donnée, nous ne considérerons que la mesure de l'intervalle de temps entre deux impulsions,  $\widetilde{\Delta t}$ . Les notations seront toujours respectées,  $\Delta t$  représentant la mesure de  $\widetilde{\Delta t}$ .

### 3.2.2 Fonctionnement général de la méthode de détection

A l'aide des nombreux brevets industriels rédigés sur le principe d'une méthode de détection indirecte, [Kikuchi 99], [Cook 98], [Wrenbeck 95] et [Honma 05], [Kidokoro 02], [Choby 05] et [Bouamra 98], [Kobayashi 06], nous allons pouvoir décrire le fonctionnement général de la méthode de détection. Le point commun à tous ces brevets est d'utiliser au maximum toute l'information délivrée par le capteur, et donc d'éviter au maximum sa perte par un quelconque système de filtrage.

FIG. 3.4 – Comparaison de la mesure de  $\Delta t_n$  et  $\omega_n$ .

Le principe de la Fig. 3.5, peut alors être décrit comme la base d'une méthode de détection d'obstacle indirecte basée sur l'information issue d'un capteur à effet Hall.

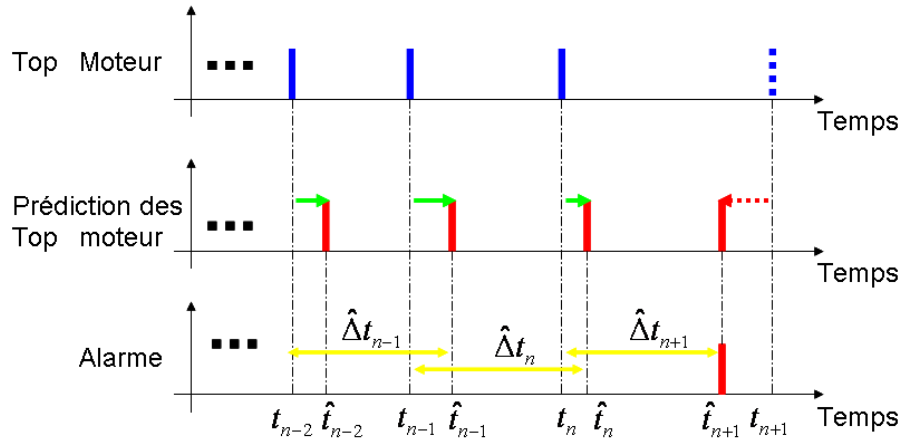


FIG. 3.5 – Principe de fonctionnement général de la méthode.

Ce principe de détection est basé sur l'exploitation du signal fourni par le capteur à impulsions généralement utilisé pour mesurer la vitesse de rotation du moteur actionnant l'ouvrant. Les variations de délais entre impulsions successives sont en effet symptomatiques de variations de la vitesse.



A chaque impulsion du capteur, l'objectif est de prédire l'instant d'occurrence de la prochaine impulsion ou, ce qui est équivalent, le temps entre les deux impulsions. Ce temps entre deux impulsions est représentatif de la vitesse entre ces impulsions.

La valeur prédite correspond au comportement *normal*, la valeur réelle au comportement effectif. Si la valeur réelle est supérieure à la valeur prédite, nous en déduisons que l'ouvrant a été anormalement ralenti, et donc qu'un obstacle est présent.

L'enjeu est donc de prédire au mieux le temps qui doit s'écouler avant la prochaine impulsion.

Sur l'exemple Fig. 3.5, les tops du moteur apparaissent en bleu ; ce sont les instants échantillonnés où le capteur délivre un top. En rouge, nous avons les prédictions des tops moteur. La prédiction de  $\hat{t}_n$  étant calculée à l'instant  $t_{n-1}$ , par la suite nous utiliserons régulièrement la valeur  $\hat{\Delta}t_{n+1}$ , qui correspond à  $\hat{t}_{n+1} - t_n$ , et qui est la prédiction relative de la prochaine occurrence. Dans les trois premier cas,  $t_{n-2}$ ,  $t_{n-1}$ ,  $t_n$ , le top moteur arrive avant la prédiction. Dans ces conditions, il n'y a pas d'alarme. Par contre, nous voyons que la prédiction  $\hat{t}_{n+1}$  arrive avant le top du moteur. Nous sommes alors en présence d'un fort ralentissement, non prévu, du système, et nous activons une alarme. Ces méthodes se basant sur la prédiction de l'occurrence suivante et de la comparaison de celle-ci avec le temps qui s'écoule, sont généralement nommées en anglais méthodes du *Time-Out*. En effet, si le temps prédit est dépassé, il y a une alarme.

Le schéma de principe général de la détection par Time-Out est alors donné par la Fig. 3.6. Au départ, nous avons un *Estimateur* qui est activé sur les tops du moteur et qui exploite un certain nombre d'entrées complémentaires dépendant du principe d'estimation choisi. Afin de prédire au mieux l'occurrence du top moteur suivant, il délivre son estimation sous la forme de sa sortie aux instants où il est activé. Ensuite, il y a le *Compteur* qui implémente le décompte du temps et dont la sortie exprime à chaque instant d'échantillonnage le temps estimé avant le prochain top qui va servir à la prise de décision dans le dernier bloc. Le bloc *Décision* délivre quant à lui l'information Alarme.

### Le compteur

Le compteur est réinitialisé à la valeur *Init\_compteur* tous les tops moteur et il subit une décroissance linéaire entre deux tops moteur consécutifs, Fig. 3.7.

Le décrétement est donc unitaire à chaque instant d'échantillonnage.

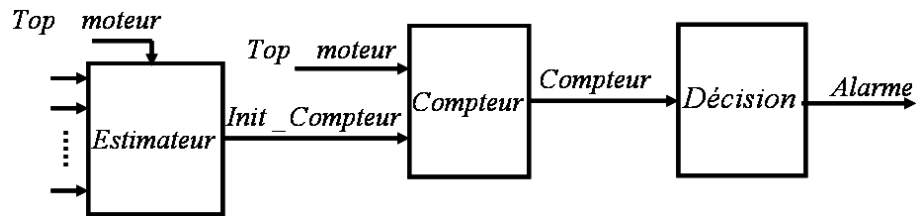


FIG. 3.6 – Principe de fonctionnement général de la méthode par Time-Out.

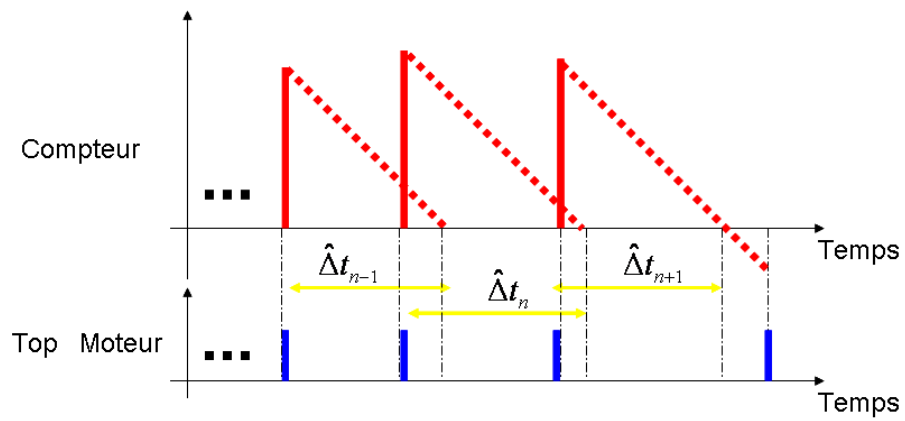


FIG. 3.7 – Principe de fonctionnement général du compteur.

### La décision

Ce bloc décide qu'une alarme doit être activée quand la prédiction est plus petite que la mesure du temps. Par conséquent, nous considérerons simplement, que le bloc décision active une alarme dès que :

$$\Delta t_n > \hat{\Delta} t_n. \quad (3.15)$$

Il y a donc une alarme dès que le signal de compteur est strictement plus petit que 0.

Cette méthode de décision est très simple, mais permet une réactivité importante en cas de détection d'obstacle.

Certains blocs de décision peuvent être plus complexes. Par exemple, la méthode de décision choisie par [Honma 05] consiste à attendre deux tops moteur successifs où le compteur est négatif. Au premier compteur négatif, aucune alarme n'est activée. Par contre, si au top suivant le compteur est à nouveau négatif, alors une alarme est activée. Le but de cette méthode de décision est de réduire le nombre d'erreurs de détection, et particulièrement ici les fausses détections. Par contre, en cas d'impact réel avec un obstacle, l'alarme aurait pu être activée un top plus tôt, ce qui semble incohérent avec les contraintes qui ont été fixées dans l'introduction de ce chapitre.

### L'estimation

Le bloc d'estimation calcule la prédiction de la prochaine occurrence d'un top moteur,  $\hat{\Delta} t_n$ . Dans cette architecture, où le bloc de décision est très simple, l'efficacité de la détection est réalisée par le bloc d'estimation. Son développement et sa mise au point sont donc un enjeu essentiel de la méthode.

## 3.3 La génération du bloc *estimation*

D'après l'architecture utilisée pour réaliser la fonction d'anti-pincement, le bloc d'estimation est le bloc clé de la fonction. En effet, les deux autres blocs de l'architecture sont simples, un compteur et un comparateur (section 3.2.2), et peuvent être complexifiés dans certains cas. Par conséquent, pour la conception du bloc estimation, le cahier des charges est relativement simple :

- Efficacité de la détection,
- Facilité de mise au point,
- Facilité d'implantation dans le calculateur,
- Robustesse aux dispersions du système (par exemple, les instationnarités présentées dans le chapitre 2.1.1).

L'idée la plus simple est de considérer que la vitesse reste constante au cours du déplacement de l'ouvrant. Dans ce cas, le bloc d'estimation peut se résumer, [Bouamra 98], à l'équation suivante :

$$\hat{\Delta}t_n = cst. \quad (3.16)$$

Cette méthode peut paraître efficace a priori, car elle semble remplir aisément le critère de mise au point : Il suffit en effet de connaître la vitesse minimum de l'ouvrant lors du déplacement. De même, le critère d'implantation est respecté, de par la simplicité de la méthode. Par contre, ce type de détection est lié à la vitesse minimum de l'ouvrant. Si, à un moment, l'écart devient important entre la vitesse de l'ouvrant et cette vitesse minimum, ce sera préjudiciable à l'efficacité de la détection. Et finalement, si la mise au point de l'algorithme semblait simple au départ, elle ne l'est guère en définitive. En effet, il sera très délicat de faire une mise au point qui soit efficace sur tout le déplacement de l'ouvrant.

### 3.3.1 La méthode de référence

La fonction anti-pincement est développée, mise au point et implantée par le fournisseur. Celui-ci fournit au constructeur automobile un algorithme répondant au cahier des charges, mais ne dévoile pas entièrement le code. Il est donc impossible de vérifier la générique de l'algorithme d'un ouvrant à un autre. De plus, il existe plusieurs fournisseurs pour la fonction d'anti-pincement des lève-vitres, l'algorithme ne pourra donc pas être générique d'un fournisseur à un autre. De même, les simulations ne sont pas aisées, car l'algorithme va être optimisé pour un jeu de paramètres donné. Dans le cas où l'identification évolue, il faut pouvoir faire évoluer l'algorithme d'anti-pincement de manière cohérente. Pour toutes ces raisons, nous avons mis au point une méthode de référence qui est basée sur l'étude des différents brevets, [De Frutos 03] et [Cook 98] par exemple.

L'idée principale est de considérer que la vitesse de l'ouvrant au cours du déplacement peut varier, mais quasiment pas sur 3 tops moteur. La prédiction est donc la mesure précédente et une correction. En fonction des brevets, cette correction peut être additive ou multiplicative, comme dans [Cook 98], ce qui nous donne :

$$\hat{\Delta}t_{n+1} = \Delta t_n + S, \quad (3.17)$$

ou

$$\hat{\Delta}t_{n+1} = \Delta t_n * x, \quad (3.18)$$

avec  $S$  la marge de sécurité et  $x$  la correction multiplicative.

Par la suite nous considérerons que la marge de sécurité est additive, (3.17). En effet, il n'y a aucune raison pour que les variations normales de vitesses soient proportionnelles à la vitesse de rotation du moteur.

Cette marge de sécurité,  $S$ , doit prendre en compte les variations normales de vitesse du système entre 3 tops moteur ainsi que les erreurs de mesure. Bien entendu, l'application de la marge de sécurité réduit l'efficacité de la méthode de détection si aucune variation de la vitesse n'est observée durant le déplacement de l'ouvrant en l'absence d'obstacle.

Dans le but de développer une méthode générique d'anti-pincement, prenant en compte les variations normales et/ou anormales du système, il est nécessaire d'améliorer la fonction d'anti-pincement.

### 3.3.2 La nouvelle méthode

#### Description

Le but de cette proposition, [Mangonneaux 09b], est de prendre en compte les variations normales de la vitesse de déplacement de l'ouvrant, tout en conservant une erreur de prédiction faible et donc une marge de sécurité faible aussi. Une marge de sécurité faible garantit en effet une efficacité constante de la détection. Ainsi, plus la marge de sécurité est grande, pour éviter les fausses détections par exemple, moins la détection est optimale.

L'idée est de considérer que l'intervalle de temps suivant dépend en partie de l'intervalle de temps précédent. Si nous utilisons une fonction estimation de cette dépendance  $f(\Delta t_n)$  et que nous définissons  $\epsilon_{n+1}$  comme étant l'erreur de mesure, alors nous avons :

$$\Delta t_{n+1} = f(\Delta t_n) + \epsilon_{n+1}. \quad (3.19)$$

L'amélioration de la méthode est alors de considérer que l'estimation n'est plus définie comme dépendant simplement de la mesure précédente, équation (3.17), mais en plus des variations précédentes :

$$\hat{\Delta t}_{n+1} = \Delta t_n + f(\Delta t_n) - f(\Delta t_{n-1}). \quad (3.20)$$

Avec ce type d'estimation, l'erreur de mesure est alors définie par :

$$\Delta t_{n+1} - \hat{\Delta t}_{n+1} = \epsilon_{n+1} - \epsilon_n. \quad (3.21)$$

L'idée principale de cette estimation est de corriger la fonction d'estimation par l'erreur précédente.

Le critère pour choisir la fonction d'estimation est la simplicité de sa mise en oeuvre. Or, le choix le plus simple pour la fonction  $f$  est celui de la fonction identité. Dans ce cas, l'équation (3.20) devient :

$$\hat{\Delta}t_{n+1} = \Delta t_n + \Delta t_n - \Delta t_{n-1}. \quad (3.22)$$

Cependant, l'équation (3.22) est une estimation théorique qui n'est précise que lorsque les variations de vitesse sont constantes. De plus, les erreurs de mesure doivent être prises en compte. Une marge de sécurité doit alors être ajoutée à l'équation (3.22), donc l'estimation devient :

$$\hat{\Delta}t_{n+1} = \Delta t_n + \Delta t_n - \Delta t_{n-1} + S, \quad (3.23)$$

où  $S$  est la marge de sécurité qui prend en compte les variations de vitesse non constantes (accélérations ou décélérations variables) et les erreurs de mesure.

### Mise au point de la marge de sécurité $S$

L'équation (3.23) définit l'algorithme de détection mais il reste à développer la méthode pour la mise au point de la marge de sécurité  $S$ . Pour cela, il peut être intéressant d'analyser comment se comporte l'algorithme de détection face aux variations de  $\Delta t$ .

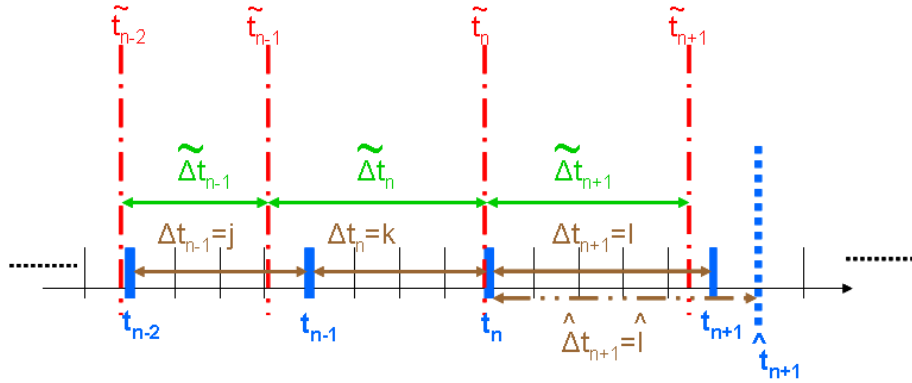


FIG. 3.8 – Principe de la détection.

Pour cette étude, les notations présentées sur la Fig. 3.8 seront utilisées. Avec ces notations, une alarme intervient à l'instant  $\hat{t}_{n+1} + 1$  si la valeur mesurée  $l$  est plus grande que la valeur estimée  $\hat{l}$ .

Puisqu'il y a une alarme si  $\hat{l} = 2k - j + S$  d'après l'équation (3.23), la plus petite valeur pour générer une alarme est :

$$l = 2k - j + S + 1, \quad (3.24)$$

Dans ce cas limite, l'équation (3.12) donne :

$$k - j + S - 1 < \widetilde{\Delta}t_{n+1} - \widetilde{\Delta}t_n < k - j + S + 3. \quad (3.25)$$

Donc dans tous les cas, s'il y a une alarme, il est alors certain que :

$$k - j + S - 1 < \widetilde{\Delta}t_{n+1} - \widetilde{\Delta}t_n. \quad (3.26)$$

A l'inverse, il n'y a pas d'alarme si la valeur mesurée est au plus  $l = 2k - j + S$ . Dans ce nouveau cas limite, l'équation (3.12) donne :

$$k - j + S - 2 < \widetilde{\Delta}t_{n+1} - \widetilde{\Delta}t_n < k - j + S + 2. \quad (3.27)$$

Donc dans tous les cas, si il n'y a pas d'alarme, il est alors certain que :

$$\widetilde{\Delta}t_{n+1} - \widetilde{\Delta}t_n < k - j + S + 2. \quad (3.28)$$

Les équations (3.26) et (3.28) définissent alors deux domaines qui ne sont pas disjoints. Il existe donc une zone de recouvrement qui est un domaine ambigu. Dans ce domaine, une alarme peut être déclenchée ou non comme le montre la Fig. 3.9.

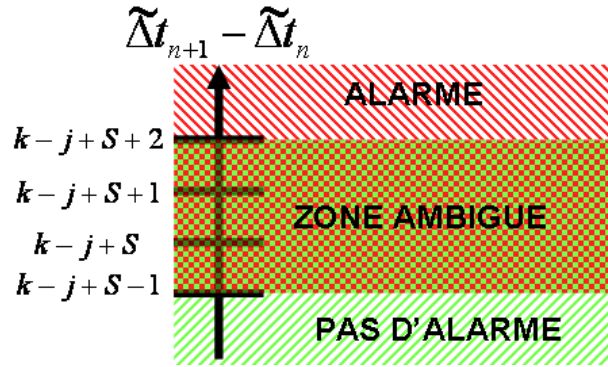


FIG. 3.9 – Description de la zone ambiguë.

Nous voyons sur la Fig. 3.9 que malheureusement la zone ambiguë ne peut pas être réduite. Par contre, le choix de la marge de sécurité est tout de même important car il définit les bornes de cette zone. Pour définir la marge de sécurité, il faut minimiser la borne supérieure de la zone ambiguë. Pour cela, la marge de sécurité devra être prise aussi petite que possible, mais sans risquer de générer de nombreuses fausses détections. Considérons alors l'équation (3.12) qui dans ce cas peut se ré-écrire :

$$\widetilde{\Delta}t_n - \widetilde{\Delta}t_{n-1} - 2 < k - j < \widetilde{\Delta}t_n - \widetilde{\Delta}t_{n-1} + 2. \quad (3.29)$$

Un premier critère relatif aux fausses détections peut alors être établi. Il est, pour cet exemple, basé sur la spécification qu'il ne doit pas y avoir de fausse détection quand la vitesse de déplacement de l'ouvrant est constante. Ceci peut se traduire par  $\widetilde{\Delta}t_{n+1} - \widetilde{\Delta}t_n = 0$  doit obligatoirement être dans la zone *pas d'alarme* (Fig. 3.9) et alors :

$$0 \leq k - j + S - 1. \quad (3.30)$$

En utilisant l'équation (3.29) avec  $\widetilde{\Delta}t_n - \widetilde{\Delta}t_{n-1} = 0$  et en considérant que  $j$ ,  $k$ , et  $S$  sont des entiers répondant au premier critère, alors l'équation (3.29) est équivalente à :

$$-1 \leq k - j \leq 1, \quad (3.31)$$

donc, dans le pire des cas  $k - j = -1$  et nous avons alors :

$$2 \leq S. \quad (3.32)$$

Le second critère est basé sur les non détections. Par exemple, une spécification possible est d'avoir une alarme dès que  $\widetilde{\Delta}t_{n+1} - \widetilde{\Delta}t_n = \widetilde{\Delta}t_n - \widetilde{\Delta}t_{n-1} + \epsilon$ . Dans ce cas, la différence  $\widetilde{\Delta}t_{n+1} - \widetilde{\Delta}t_n$  doit obligatoirement être dans la zone *alarme* (Fig. 3.9), ce qui peut se traduire par :

$$k - j + S + 2 \leq \widetilde{\Delta}t_n - \widetilde{\Delta}t_{n-1} + \epsilon. \quad (3.33)$$

Ou encore en utilisant l'équation (3.29) :

$$S \leq \epsilon - 4. \quad (3.34)$$

Évidemment, ces deux contraintes sont contradictoires. Le choix de la marge de sécurité doit donc respecter l'utilisation normale du système et la sécurité de ses utilisateurs.

Le principal critère retenu est que les fausses alarmes, quand la vitesse est constante, ne sont pas admissibles. En effet, ce cas de vie est le plus fréquent, et pour la qualité du déplacement de l'ouvrant vis à vis de l'utilisation, il n'est pas souhaitable d'avoir de fausses détections. Donc la marge de sécurité a été sélectionnée telle que  $S = 2$ .

De plus, il est déjà possible, dans le pire des cas avec  $S = 2$ , d'avoir des variations de 5, d'après la Fig. 3.9, qui ne déclenchent pas d'alarme. De plus, toujours dans le pire des cas, ces variations peuvent s'ajouter. A savoir, au premier top après l'impact, la variation est de 5 au second top la variation relative est toujours de 5 mais en absolu, elle est déjà de 10, et la détection n'est pas assurée. Comparé à la période d'échantillonnage, ce temps est déjà très important, spécialement avec des obstacles mous. Il est alors nécessaire d'améliorer la méthode de détection.



### Amélioration à l'aide du coefficient de confiance

La méthode définie par l'équation (3.23) est adaptée pour la détection des variations de vitesse importantes, mais fonctionne moins bien lorsque les variations sont plus faibles. Cette méthode est donc particulièrement adaptée aux obstacles *durs*, c'est à dire aux obstacles dont la raideur est importante, car ils produisent des variations de vitesse importantes. Par contre, pour les obstacles *mous*, c'est-à-dire à faible raideur, il y a plus de difficultés à les distinguer parmi les variations normales de la vitesse (Fig. 3.10). Bien que la vitesse varie au cours d'une manoeuvre, il existe une certaine répétitivité d'un mouvement à l'autre.

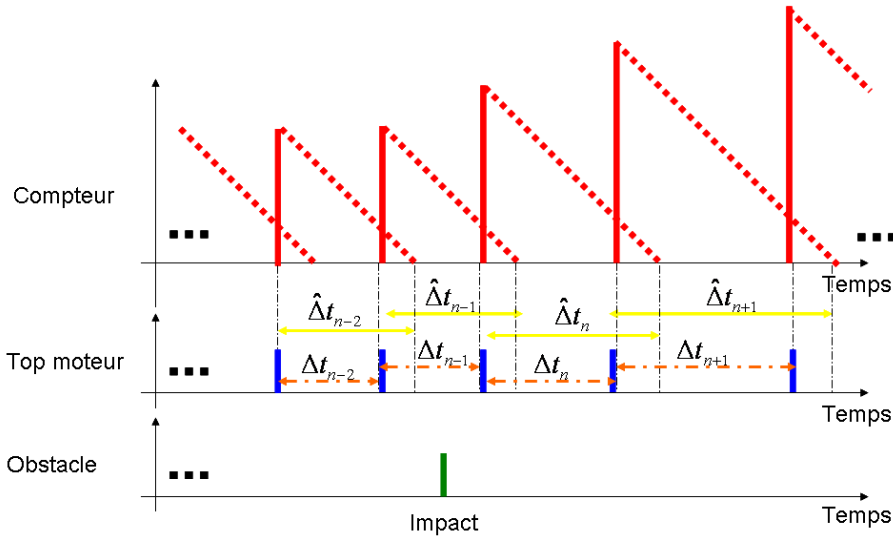


FIG. 3.10 – Description d'une non-détection avec un obstacle mou.

Dans le but d'améliorer la détection, un nouveau bloc a été intégré au bloc d'estimation (cf Fig. 3.11). Ce bloc estime un *coefficient de confiance* à partir de l'observation de la mesure,  $\Delta t$ , et d'une référence précédemment enregistrée,  $\check{\Delta}t$ . Ce coefficient vaut 1 quand la mesure est égale à la référence et décroît progressivement quand la mesure s'éloigne de la référence.  $\epsilon_\Delta$  est alors défini par :

$$\epsilon_\Delta = \Delta t - \check{\Delta}t. \quad (3.35)$$

L'estimation du coefficient de confiance est alors basée sur un algorithme plus ou moins complexe. Nous avons choisi la fonction non-linéaire présentée Fig. 3.12, qui utilise directement la grandeur  $\epsilon_\Delta$ .

Ce coefficient est alors utilisé dans un bloc d'estimation modifié, décrit par :

$$\hat{\Delta}t_{n+1} = \Delta t_n + (\Delta t_n - \Delta t_{n-1} + S) * C(\epsilon_\Delta). \quad (3.36)$$

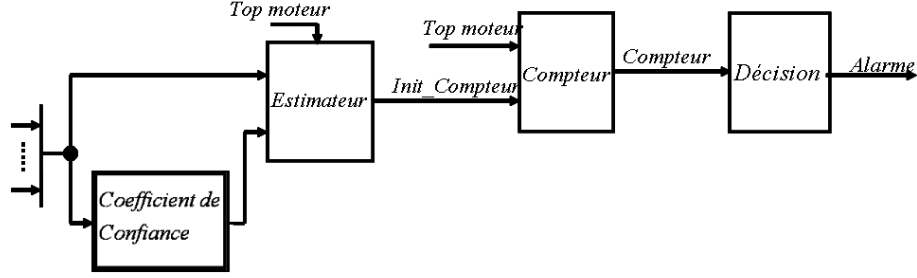


FIG. 3.11 – Le bloc estimation avec le coefficient de confiance.

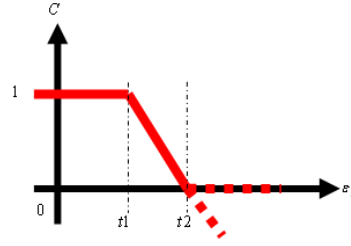


FIG. 3.12 – Le coefficient de confiance.

où  $C$  est le coefficient de confiance qui dépend de  $\epsilon_\Delta$ .

Quand la différence est faible, le coefficient de confiance vaut 1 et l'estimation est identique à la précédente, permettant la détection des fortes variations de la vitesse. Par contre, dès que la différence devient importante, le coefficient de confiance est plus petit et dans ce cas, l'estimation devient elle aussi plus faible. La sensibilité de la détection aux variations de la vitesse est alors améliorée.

Cette approche est basée sur l'enregistrement d'une référence sans obstacle. En effet, la vitesse de déplacement de l'ouvrant va dépendre des conditions extérieures comme la température ou l'humidité qui vont modifier les paramètres des joints, tout comme le vieillissement du système. Dans ce cas, il est difficile de définir à l'avance une référence. La référence est alors issue de la dernière manoeuvre sans obstacle, où à chaque position  $x_n$  correspond un intervalle de temps  $\Delta t_n$ .  $X$  est alors le vecteur des positions d'enregistrement  $x_n$ . Une bonne approximation de la référence,  $\check{\Delta}t$ , peut être un polynôme de degré 5. Il est alors possible d'estimer les coefficients du polynôme à l'aide de la méthode des moindres carrés. Les positions où les intervalles de temps sont considérés sont a priori connues, alors la matrice dans l'équation (3.37) peut être calculée hors-ligne. Dans ce cas, le seul vecteur inconnu dans l'équation (3.37) est le vecteur de mesure  $\Delta T$ , et la génération de la référence en-ligne se résume à une multiplication matricielle.

$$\hat{a} = (X'X)^{-1} X' \Delta T. \quad (3.37)$$

Pour notre application, nous avons retenu 7 points de mesure sur une montée, avec une concentration un peu plus importante dans la zone haute, zone la plus sensible pour la détection. Nous pouvons alors construire la matrice  $(X'X)^{-1} X'$  hors-ligne, dès que nos points de mesure sont sélectionnés. Le choix de l'ordre du polynôme a été réalisé de manière empirique. En effet, à partir des multiples résultats d'essais dont nous disposons, qui couvrent une très grande partie des situations de vie, le polynôme de degré 5 s'est avéré le choix le plus judicieux pour représenter le  $\Delta t$  au cours du temps.

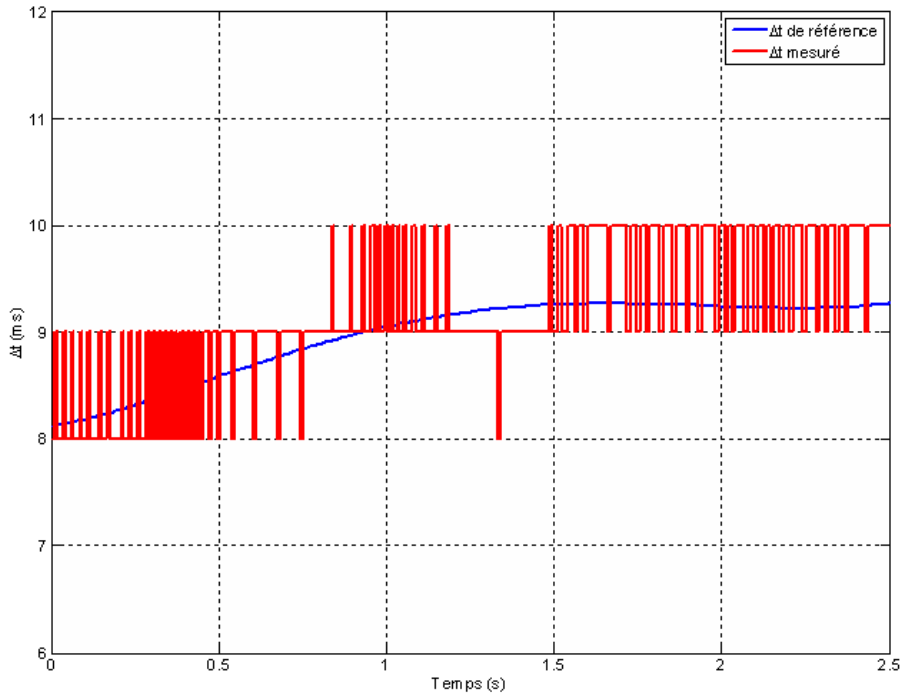


FIG. 3.13 – Comparaison du  $\Delta t$  mesuré et de référence.

Sur la Fig. 3.13, nous comparons le  $\Delta t$  mesuré sur un moyen d'essais et celui de référence. Le polynôme représente bien la mesure. En effet, au bruit de la mesure de  $\pm 1ms$  près, les deux courbes sont très proche l'une de l'autre. En effet, en filtrant la mesure, Fig. 3.14, pour s'abstraire un minimum du bruit de mesure, l'écart entre les deux courbes est de 3.7%.

La méthode des moindres carrés est particulièrement bien adaptée à notre problématique. En effet, elle nous permet de sauvegarder l'information qui nous intéresse avec une taille mémoire restreinte et un temps de calcul minimal.

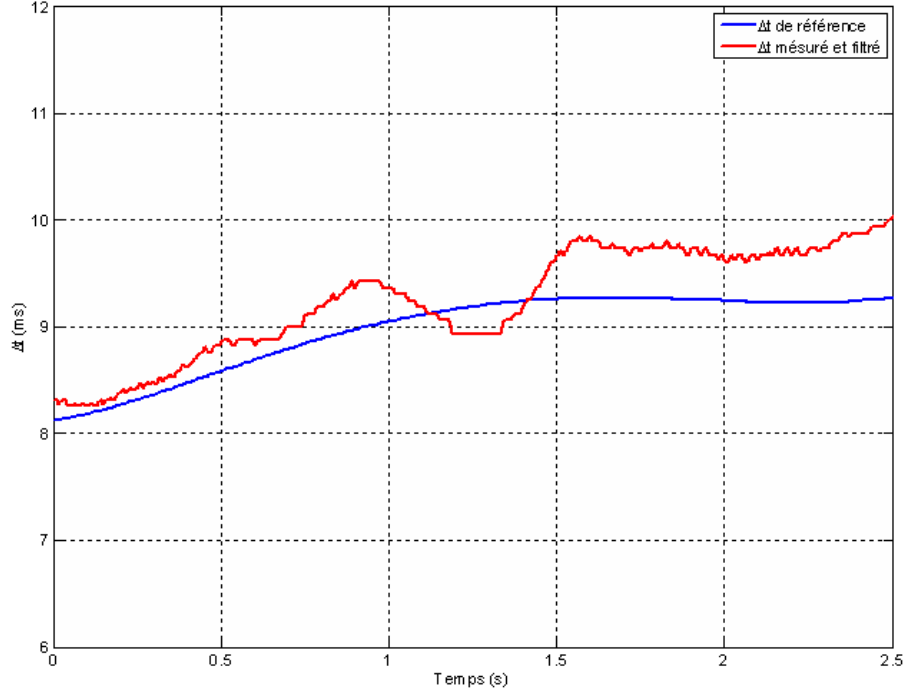


FIG. 3.14 – Comparaison du  $\Delta t$  mesuré et filtré et du  $\Delta t$  de référence.

### 3.3.3 Garantie de la sécurité

Le développement de la méthode de détection est basé sur le bloc d'estimation, qui doit prendre en compte les petites variations qui peuvent intervenir durant un déplacement. Un coefficient de confiance utilisant une référence est alors utilisé pour prendre en compte les variations mécaniques, dues au vieillissement, aux variations extérieures influençant le système.

Cependant, la fonction anti-pincement est une fonction de sécurité et il est obligatoire qu'elle garantisse que l'utilisateur ne sera pas blessé. Avec les dispersions du système et les adaptations liées à la méthode de détection, il est très difficile d'offrir cette garantie. Il est donc nécessaire de limiter l'estimation de l'intervalle de temps à un temps maximum. Ainsi, dans le pire des cas, la vitesse de l'ouvrant ne pourra descendre en dessous d'une vitesse minimale sans activer une alarme.

Il est alors introduit un bloc de *saturation* dans la description de la méthode de détection comme nous pouvons le voir sur la Fig. 3.15, et dans [Mangonneaux 09c].

Pour choisir la valeur de la saturation, il est nécessaire de considérer la vitesse minimum de l'ouvrant lors du déplacement. Cette valeur dépend essentiellement de la tension batterie du véhicule. Le bloc saturation est

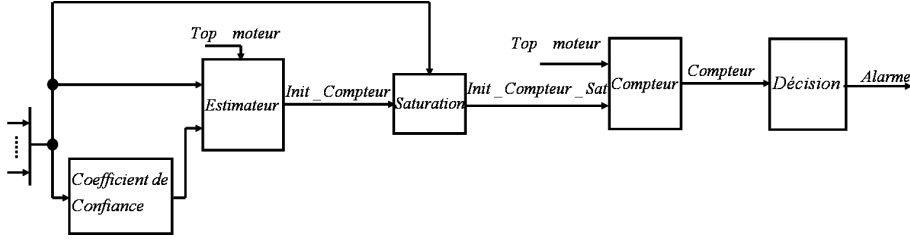


FIG. 3.15 – Détection avec un coefficient de confiance et une saturation.

alors basé sur l'utilisation d'une saturation nominale et de sa dépendance à la tension batterie. En considérant un point de fonctionnement statique à partir des équations du moteur électrique :

$$U(t) = L \frac{di(t)}{dt} + ri(t) + K_e \omega(t), \quad (3.38)$$

$$C(t) + K_c i(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + M_f \omega(t). \quad (3.39)$$

En éliminant le courant  $i(t)$  et en ne considérant que le régime stabilisé, nous pouvons écrire :

$$\Delta\omega(t) = \Delta U(t) \left( \frac{K_c}{M_f r + K_e * K_c} \right). \quad (3.40)$$

Comme l'intervalle de temps  $\widetilde{\Delta t}$  est lié à la vitesse de rotation du moteur par l'équation :

$$\omega(t) = \frac{2\pi}{N \widetilde{\Delta t}}, \quad (3.41)$$

la saturation est calculée à partir de la valeur nominale de la vitesse à une tension batterie nominale et à partir de l'écart de la tension par rapport à cette tension nominale, de la manière suivante :

$$\Delta t_{sat} = \Delta t_{nom\_sat} \frac{1}{1 + \frac{N K_c \Delta t_{nom\_sat}}{2\pi(K_c K_e + M_f r)} \Delta U}, \quad (3.42)$$

où les paramètres sont définis dans le Tab. 3.1.

### 3.3.4 La mise au point de l'algorithme

Cet algorithme de détection ne comporte finalement que peu de paramètres à régler. En effet, à l'aide de la Fig. 3.15, l'ensemble des paramètres peut être recensé.

TAB. 3.1 – Nomenclature

$U$	Tension batterie
$i$	Courant
$\omega$	Vitesse de rotation du moteur
$L$	Inductance
$r$	Résistance
$K_e$	Coefficient de force contre électromotrice
$K_c$	Coefficient de couple du moteur électrique
$C$	Couple de charge
$J$	Inertie du moteur électrique
$M_f$	Coefficient de frottement visqueux

### Le coefficient de confiance

Le coefficient de confiance a été défini par la Fig. 3.12. Il comporte deux variables  $t1$  et  $t2$  représentant les instants,  $\epsilon_\Delta$ , qui entraînent un changement du coefficient de confiance. Les matrices nécessaires à l'enregistrement du  $\Delta t$  par la méthode des moindres carrés sont à compiler hors ligne et dépendent des abscisses des points que nous souhaitons enregistrer.

### L'estimateur

L'estimateur est décrit par l'équation (3.23) :

$$\hat{\Delta t}_{n+1} = \Delta t_n + \Delta t_n - \Delta t_{n-1} + S, \quad (3.43)$$

Le seul paramètre à régler est la marge de sécurité  $S$ . Une partie se rapporte justement à la mise au point de ce paramètre, 3.3.2.

### La saturation

La saturation est définie par rapport à l'équation (3.42) :

$$\Delta t_{sat} = \Delta t_{nom\_sat} \frac{1}{1 + \frac{NK_c \Delta t_{nom\_sat}}{2\pi(K_c K_e + M_f r)} \Delta U}, \quad (3.44)$$

Dans cette équation, les paramètres sont les paramètres nominaux du moteur électrique à courant continu, auxquels il faut ajouter le paramètre connu de l'homme du métier,  $\Delta t_{nom\_sat}$ .

### Le compteur

Il n'y a aucun paramètre à régler, le compteur décroît unitairement par rapport à la fréquence d'échantillonnage.

### La décision

Il n'y a pas davantage de paramètre à régler, puisque la décision utilise un algorithme basique qui consiste à vérifier que la sortie du compteur est positive.

### Récapitulatif

Pour mettre au point la méthode d'anti-pincement sur un lève-vitre donné, les paramètres à régler sont définis dans le Tab. 3.2.

Paramètres	Description	Exemple de valeur
$t1$	Début de la décroissance du coefficient de confiance en fonction de $\epsilon_{\Delta}$	1
$t2$	$\epsilon_{\Delta}$ pour lequel le coefficient de confiance est nul	2
$S$	Marge de sécurité de l'algorithme	2
$\Delta t_{nom\_sat}$	$\Delta t$ maximale admissible lors d'un fonctionnement nominal du système à une tension d'alimentation donnée	Dépend de la vitesse du moteur électrique

TAB. 3.2 – Variables à paramétrer pour la mise au point de l'anti-pincement.

## 3.4 Les résultats [Confidentielle]

Dans cette partie, nous allons tester et valider les algorithmes de détection que nous avons mis au point précédemment.

Pour des raisons de confidentialité, les efforts maximaux, simulés ou mesurés, transmis à l'obstacle en cas d'impact sont exprimés en pourcentage de la norme interne au groupe PSA Peugeot Citroën en matière d'anti-pincement, cette norme étant bien entendue inférieure au seuil réglementaire.

### 3.4.1 L'architecture de détection

L'architecture de détection simulée est identique à celle qui sera implantée sur le moyen d'essais. Elle est représentée sur la Fig. 3.16.

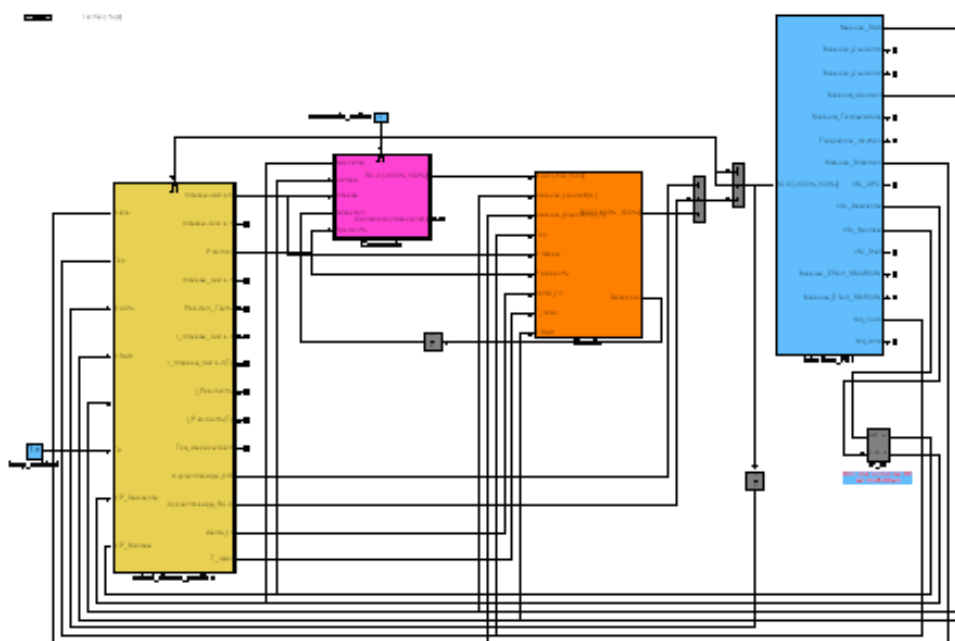


FIG. 3.16 – Architecture de détection

Le bloc jaune, à gauche, représente la mise en forme des signaux de mesures. C'est ce bloc qui calcule la position ainsi que le délai inter top,  $\Delta t$ . De même, il calcule pour des besoins spécifiques, la vitesse de rotation du moteur électrique, et il gère l'apprentissage des butées pour un calcul correct de la position. Le bloc suivant dans une lecture de gauche à droite, à savoir le bloc magenta, assure la gestion de la commande du LVE. Le bloc suivant, en orange, est le bloc de sécurité. C'est lui qui assure l'anti-pincement et qui gère la procédure post détection d'obstacle. Le bloc suivant, en bleu, est le bloc d'interface entre l'architecture de commande et le LVE. En simulation, ce bloc est remplacé par un modèle complet de LVE. Si nous travaillons sur un moyen d'essais physique, ce bloc est la centrale d'acquisition des signaux capteurs.



### 3.4.2 Les résultats en simulation

#### Scénarii de simulation

Le modèle a été recalé par rapport à une application représentant un LVE arrière. Ce système est mono-rail et comporte un encadrement.

Nous avons alors les profils suivants pour la position, le  $\Delta t$  et le couple, Fig. 3.17, dans le cas nominal, sans obstacle, à une tension d'alimentation de 12V équivalente à la tension du véhicule moteur thermique éteint.

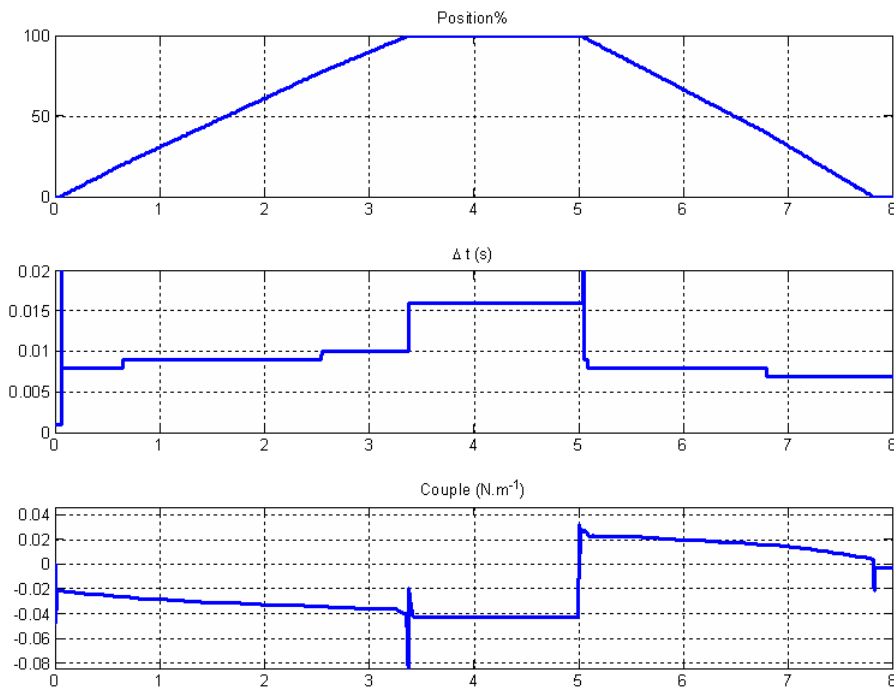


FIG. 3.17 – Position,  $\Delta t$  et couple lors d'une manoeuvre de montée et descente.

Par convention, la position 0% correspond à la butée basse de la vitre et la position 100% à la butée haute. Nous remarquons sur la Fig. 3.17 que le couple est plus important à proximité de la butée haute, que la vitre monte ou descende. Par contre, nous remarquons que le  $\Delta t$  et par conséquent la vitesse est assez stable au cours de la manoeuvre. Le  $\Delta t$  varie de  $\pm 1ms$  au cours de la montée, et de seulement  $-1ms$  au cours de la descente.

Par la suite, les simulations seront réalisées en présence d'un obstacle. Cependant, pour le bon fonctionnement du coefficient de confiance, la vitre sera positionnée en bas, puis nous réaliserons une manoeuvre de montée puis de descente avant de positionner l'obstacle et de réaliser une seconde montée.

Par contre, les résultats ont été obtenus avec une raideur équivalente de l'obstacle et du joint supérieur de la vitre. En effet, la raideur de l'obstacle vue par la vitre et donc par le capteur à impulsions est constituée de la raideur de l'obstacle en parallèle avec la raideur du joint supérieur en compression. Par contre, la raideur de l'obstacle est connue, mais la raideur du joint supérieur de la vitre dans cette situation de vie n'est pas connue. Nous avons alors distingué deux raideurs d'obstacle différentes : un obstacle dit « mou », et un obstacle dit « dur ». Dans le cas nominal, l'obstacle est positionné à  $100\text{mm}$  de la fermeture totale, Fig. 3.18.

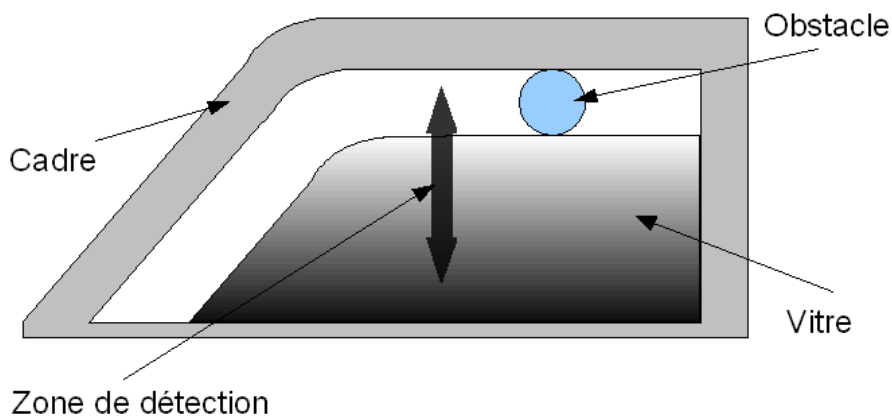


FIG. 3.18 – Configuration du LVE avec un obstacle.

### Résultats sur le cas nominal

Dans le cas nominal, avec un obstacle « mou », à une tension d'alimentation de  $12\text{V}$ , nous avons les résultats suivants, pour la méthode de détection de référence (première courbe) et pour la nouvelle méthode (seconde courbe), Fig. 3.19.

Notre méthode est plus rapide de  $18\text{ms}$  au niveau du temps de détection, ce qui se traduit par un écart de  $10.8\%$  sur l'effort maximal transmis à l'obstacle.

Si l'obstacle est « dur », l'écart au niveau du temps de détection est plus faible ( $1\text{ms}$  en faveur de notre méthode de détection), Fig. 3.20, ce qui se traduit par un écart inférieur à  $2\%$  sur l'effort maximal transmis à l'obstacle.

Partie CONFIDENTIELLE

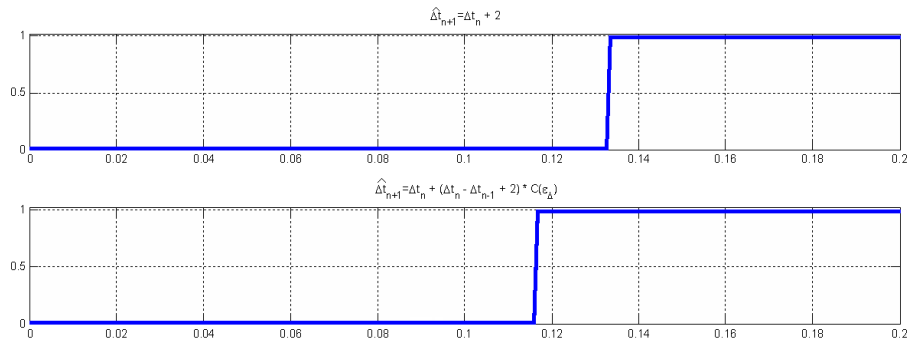


FIG. 3.19 – Temps de détection des deux méthodes.

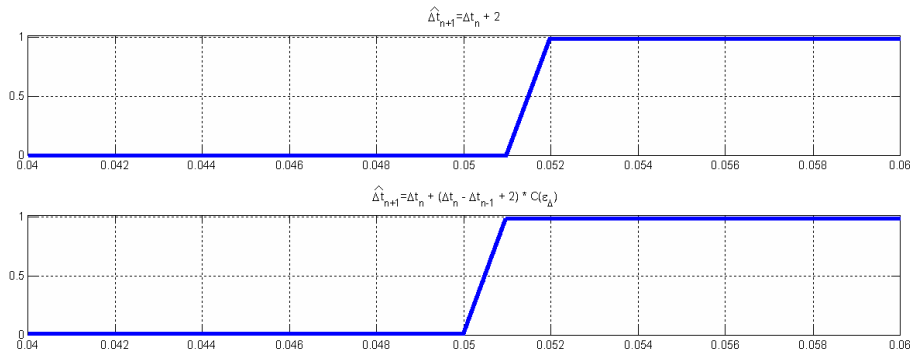


FIG. 3.20 – Temps de détection des deux méthodes.

**Résultats avancés [Confidentielle]**

## Partie CONFIDENTIELLE

**3.4.3 Les résultats expérimentaux [Confidentielle]**

Après avoir validé en simulation le bon fonctionnement des méthodes de détection, nous devons vérifier leur validité sur des moyens physiques. Cette phase est importante, car l'homologation d'une méthode d'anti-pincement est réalisée sur un moyen physique avec une procédure spécifique.

Pour comparer les deux méthodes il faut un instrument de mesure spécifique. Celui utilisé pour l'homologation est un capteur commercialisé par la société PM Instrumentation, le PMAC 2000, Fig. 3.21.



FIG. 3.21 – Représentation du PMAC 2000 en utilisation, image PM Instrumentation.

Ce capteur est composé d'un ressort taré sur lequel est en contact un doigt mobile, Fig. 3.22. C'est ce doigt qui remplit la fonction d'obstacle et qui est en contact avec le cadre de la vitre. L'ensemble du mécanisme est solidaire de la vitre.

Nous allons tester la nouvelle méthode sur trois ouvrants distincts ayant chacun une particularité.

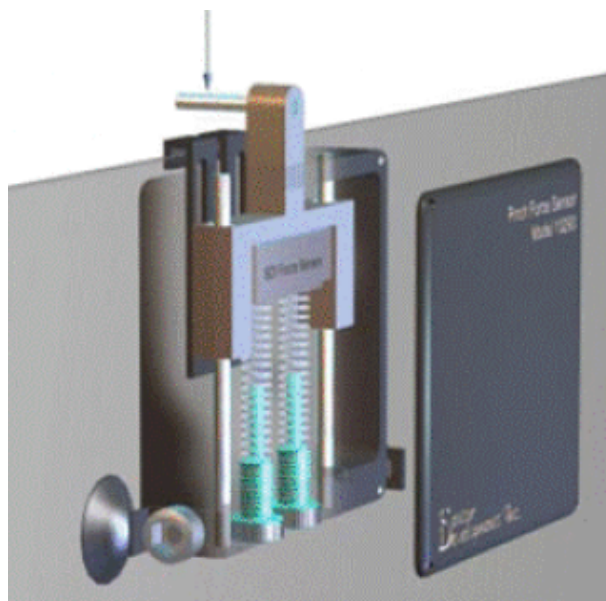


FIG. 3.22 – Vue éclatée du PMAC 2000, image PM Instrumentation.

Avant d'analyser les résultats numériques, deux remarques s'imposent. Nous avons réalisé de multiples essais, tous n'ont pas forcément été l'objet d'une mesure d'anti-pincement. Cependant, nous n'avons jamais observé de fausses détections. De même, lors des procédures d'anti-pincement, nous n'avons jamais observé de non détection.

Sur la Fig. 3.23, nous voyons la moyenne des efforts maximaux qui ont été enregistrés en différents points de la vitre et lors de différents essais pour les trois véhicules. Pour chaque ouvrant, il y a deux résultats : le premier en bleu représente la valeur obtenue avec la méthode de référence, le second en magenta représente la valeur obtenue avec la nouvelle méthode.

Nous remarquons alors que sur tous les ouvrants, la nouvelle méthode est plus performante que la méthode de référence.

## Partie CONFIDENTIELLE

### 3.5 Conclusion [Confidentielle]

Dans ce chapitre, une méthode d'*anti-pincement générique* pour une *application sans asservissement*, type lève-vitre électrique, et utilisant un *capteur à impulsions*, à faible information, a été présentée.

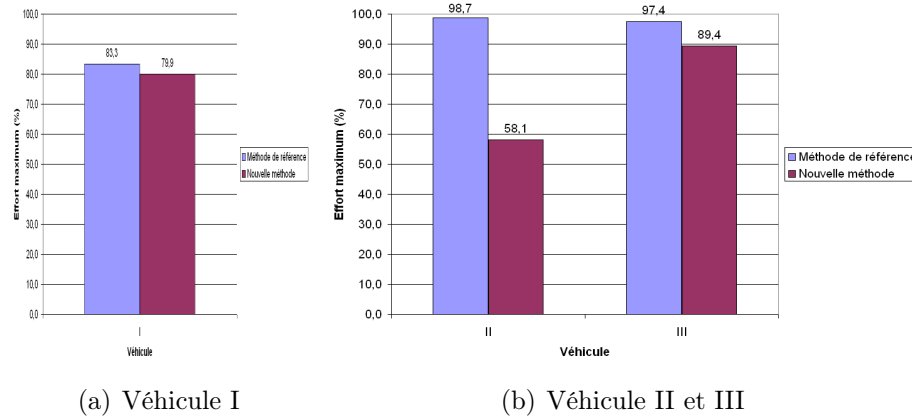


FIG. 3.23 – Résultats sur moyens d’essais pour les 3 véhicules.

Après avoir expliqué l’architecture de la méthode et défini une méthode de référence, nous avons formalisé notre méthode d’anti-pincement. Nous l’avons enrichie au fur et à mesure de différents modules : coefficient de confiance et saturation, pour la rendre la plus fiable et robuste possible.

Nous avons aussi expliqué la méthodologie de choix des paramètres de cette méthode, pour qu’elle puisse être adaptée facilement sur d’autres ouvrants. Le faible nombre de paramètres nécessaires au bon fonctionnement de la méthode rend sa mise en place rapide. Ensuite, nous avons validé la fiabilité de cette méthode en simulation, puis sur moyens d’essais.

Tous les essais se sont révélés positifs. La nouvelle méthode s’est montrée plus performante que celles auxquelles elle était confrontée, à savoir la méthode de référence en simulation et la méthode de référence ou celle du fournisseur sur moyens d’essais. De plus, nous avons pu tester la méthode sur 3 types de lève-vitres différents, chacun présentant une caractéristique particulière, architecture mono ou double rail, avec ou sans encadrement, vitre arrière ou avant. Lors de tous ces essais, nous n’avons jamais observé de fausse détection ou de non détection avec notre méthode, ce qui constitue un résultat encourageant.

Partie CONFIDENTIELLE

# Chapitre 4

## La détection en présence d'un système asservi

### Sommaire

---

<b>4.1</b>	<b>Introduction . . . . .</b>	<b>88</b>
<b>4.2</b>	<b>Problématique . . . . .</b>	<b>89</b>
4.2.1	Description du phénomène sur 3 exemples . . . . .	92
4.2.2	L'analyse du transfert entre l'erreur d'asservissement et la perturbation. . . . .	96
<b>4.3</b>	<b>Algorithmes spécifiques . . . . .</b>	<b>99</b>
4.3.1	L'approche séquentielle . . . . .	99
4.3.2	L'approche simultanée - Le correcteur à 4 paramètres	107
4.3.3	Comparaison de l'observateur C2O et du correcteur 4 paramètres . . . . .	112
<b>4.4</b>	<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>113</b>

---

## 4.1 Introduction

La détection d'obstacle dans le cas d'un système non asservi, et en présence d'un capteur délivrant peu d'information, a été étudiée précédemment dans le chapitre 3. Nous avons alors développé un algorithme de détection que nous avons validé sur une application d'ouvrant : le lève-vitre électrique. Les informations disponibles sur l'application de type lève-vitre étaient peu nombreuses et peu précises. Une application asservie nécessite quant à elle une information plus précise, pour le bon fonctionnement de l'asservissement.

Le fait d'asservir le système modifie sa dynamique et son comportement. En effet, le but de l'asservissement est de rejeter toutes les perturbations exogènes, y-compris les éventuels efforts générés par un obstacle. Ce cahier des charges semble contradictoire avec celui de la détection. En effet, s'il est indiscutablement souhaitable que la détection soit insensible à toutes les perturbations ne résultant pas d'obstacles, elle doit en revanche permettre de détecter ces derniers. Le fonctionnement de la méthode mise au point dans le chapitre 3, dans ces conditions, n'est plus assuré.

Or, il existe des applications d'ouvrants pilotés qui nécessitent un asservissement. En effet, pour certains exemples tels qu'une porte latérale coulissante motorisée ou un hayon piloté, la gestion du temps de déplacement est une contrainte forte du cahier des charges. Dans ce cas, un asservissement de la vitesse de l'actionneur est alors réalisé. Dans le même temps, les contraintes sur la détection restent présentes. Il est donc important d'étudier la détection en présence d'un système asservi. Cependant, l'asservissement nécessitant une mesure plus performante, de nouvelles méthodes de détection vont pouvoir être synthétisées.

Cette problématique n'est pas récente. En effet, dès 1988, [Nett 88] formalise le problème et propose une solution pour la détection en boucle fermée. Plus tard, [Jacobson 91] y apporte une évolution, tout comme [Tyler 94] et [Kilsgaard 96]. De même, [Patton 97], dans son état de l'art du contrôle tolérant aux fautes, réserve un chapitre particulier à la détection sur un système en boucle fermée. Des travaux plus récents, [Baïkeche 07] et [Ding 09], traitent eux aussi de la détection sur un système asservi, y ajoutant même pour [Baïkeche 05], la problématique de la prise d'information pour la détection sur un système asservi.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les limites de la méthode de détection du chapitre 3. Par la suite, nous détaillerons trois nouvelles méthodes de détection, synthétisées grâce à l'amélioration de la mesure.



## 4.2 Problématique à travers un exemple académique

Pour se représenter au mieux les différences qui peuvent exister entre les systèmes en boucle ouverte et en boucle fermée, nous allons présenter ici un système simple qui nous servira d'exemple. Ce système est issu du modèle linéaire d'ouvrant défini au chapitre 2.2 par la Fig. 2.16. Il sera pour le contexte de cette étude simplifié au moteur à courant continu qui possède deux entrées, la tension de commande et le couple de charge<sup>1</sup>, et une sortie, la vitesse de rotation du moteur. La définition du couple de charge sera alors représentative du couple de charge vu par le moteur électrique sur un modèle complet. Ce système est gouverné par deux équations : l'équation électrique et l'équation mécanique.

Nous avons alors une équation qui relie la vitesse de rotation du moteur et sa dérivée à la commande (4.1) et une autre qui lie la vitesse de rotation du moteur et sa dérivée au couple de charge (4.2).

Le système ainsi créé est une représentation *très simplifiée* de nos applications.

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = \left( \frac{K_c}{r} \right) U(t) - \left( M_f + \frac{K_c * K_e}{r} \right) \omega(t) \quad (4.1)$$

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = C(t) - \left( M_f + \frac{K_c * K_e}{r} \right) \omega(t) \quad (4.2)$$

Les paramètres, utilisés dans les équations, (4.1) et (4.2), sont définis dans le tableau 4.1.

TAB. 4.1 – Nomenclature

$U$	Tension batterie
$\omega$	Vitesse de rotation du moteur
$C$	Couple de charge
$r$	Résistance
$K_e$	Coefficient de force contre électromotrice
$K_c$	Coefficient de couple du moteur électrique
$J$	Inertie du moteur électrique
$M_f$	Coefficient de frottement visqueux

Dans le domaine de Laplace, les deux équations, (4.2) et (4.1), sont alors :

---

<sup>1</sup>Le couple de charge représente l'addition du couple résistif nominal et du couple provoqué par l'obstacle

$$\frac{\Omega(p)}{C(p)} = \frac{1}{Jp + M_f + \frac{K_c * K_e}{r}} = M(p), \quad (4.3)$$

$$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{\frac{K_c}{r}}{Jp + M_f + \frac{K_c * K_e}{r}} = K_m M(p) = M_1(p), \quad (4.4)$$

avec  $K_m = \frac{K_c}{r}$ .

Nous avons alors la représentation de la Fig. 4.1.

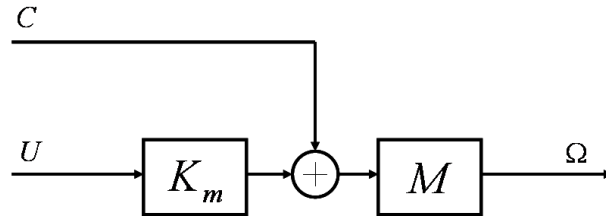


FIG. 4.1 – Modèle de l'étude

Toujours dans un souci de simplification, la mesure de vitesse sera considérée ici comme idéale. Il existe bien sûr des contraintes liées à la mesure que nous avons évoquées dans le chapitre 3, elles ne seront pas prises en compte dans ce chapitre. De plus, la mesure est améliorée dans le cas d'une application asservie, l'impact de la mesure est donc moindre ici que dans le chapitre 3.

Nous cherchons à asservir la vitesse de rotation du moteur à l'aide de sa tension d'alimentation tout en détectant les variations de charge.

La forme et les valeurs des signaux d'entrée du système sont choisies représentatives d'un système de lève-vitre. En effet, lors d'un impact avec un obstacle, la variation d'effort sur la vitre se répercute en une variation de couple de charge vu par le moteur. De même, la consigne de vitesse, tout comme le couple de charge, n'est pas défini par une constante. En effet, le couple de charge augmente progressivement lors d'une montée. Au fur et à mesure de la montée de la vitre, la surface en contact avec les joints augmente, tout comme le couple de charge sur le moteur électrique. Le couple de perturbation vient s'ajouter au couple de charge et il croît linéairement avec le temps, pour symboliser la pénétration de l'ouvrant dans l'obstacle.

Nous avons alors le profil défini sur la Fig. 4.2 pour la vitesse de consigne et le couple de charge.

Nous voyons sur la Fig. 4.2 que le couple de charge augmente brutalement à la 16<sup>ième</sup> s. Cette augmentation représente l'apparition d'un obstacle. La simulation se décomposera ainsi, d'abord une manoeuvre de fermeture, puis

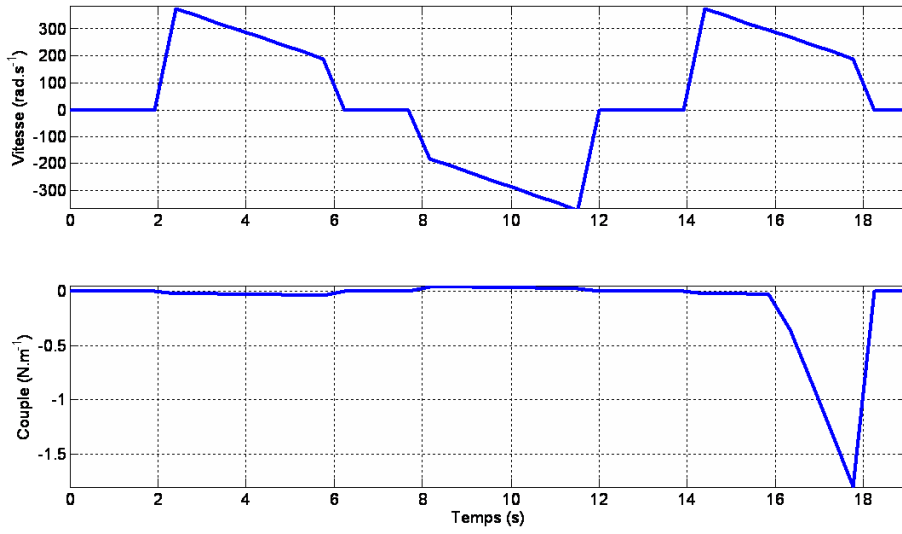


FIG. 4.2 – Profil de simulation complet

d'ouverture, ces deux manoeuvres étant réalisées sans obstacle, Fig. 4.3, puis une manoeuvre de fermeture avec un obstacle positionné à la 16<sup>ième</sup> s.

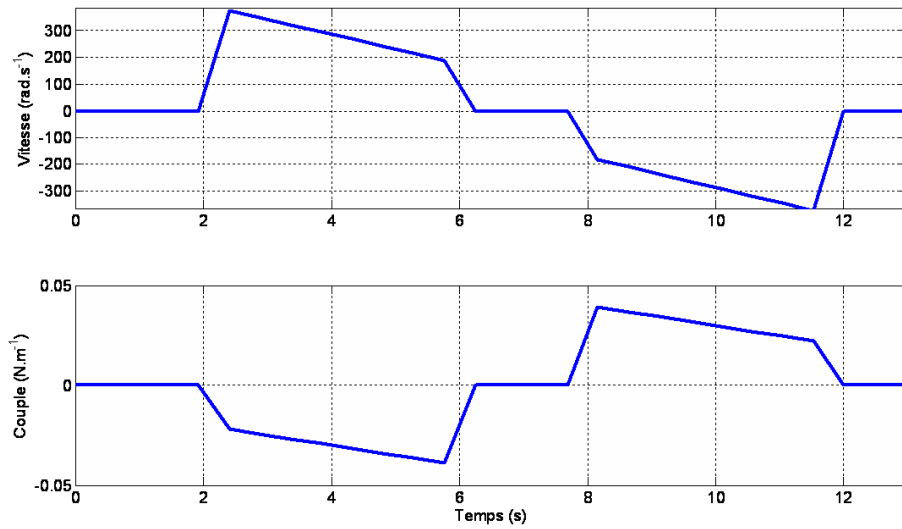


FIG. 4.3 – Début du profil de simulation

Ce modèle va maintenant être simulé dans différentes configurations. Pour avoir une référence et pouvoir ainsi se situer par rapport aux travaux du chapitre 3, ce modèle va être simulé en boucle ouverte. Puis, la vitesse de rotation du moteur va être asservie, pour évaluer l'influence de l'asservissement sur la détection.

Dans la suite de ce chapitre, la vitesse de rotation du moteur utilisée est la sortie du modèle défini par les équations (4.1) et (4.2), l'asservissement est réalisé à partir de cette mesure. Par contre, pour utiliser la méthode de détection du chapitre 3, le capteur à effet Hall est modélisé (le temps entre deux tops consécutifs  $\Delta t$  est reconstruit à partir de la vitesse de rotation  $\omega$  et de l'équation (3.13)<sup>2</sup>.

### 4.2.1 Description du phénomène sur 3 exemples

#### La boucle ouverte

Sur la Fig. 4.4, nous sommes en présence d'un déplacement sans obstacle. Comme l'entrée de commande est constante (troisième courbe), la vitesse est elle aussi pratiquement constante (première courbe). En effet, il y a une légère variation due à la variation de couple de charge (seconde courbe).

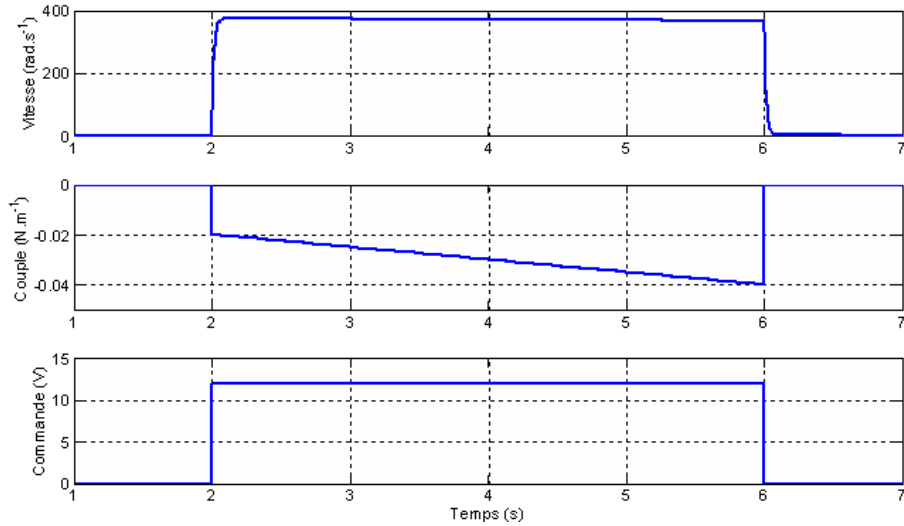


FIG. 4.4 – Déplacement sans obstacle

En appliquant la méthode de détection du chapitre 3, nous avons alors le résultat Fig. 4.5, sur le système de moteur électrique.

La première courbe représente la vitesse, la seconde le couple, la troisième la commande et la dernière le signal de détection.

Pour réaliser la détection, nous avons calibré la méthode de détection en suivant le protocole décrit dans la section 3.3.4. La détection s'effectue à un couple de charge donné. Ce couple est normé, sa valeur est alors de 100% et

<sup>2</sup>Rappel :  $\omega_n = \frac{2\pi}{N\Delta t_n}$  avec N le nombre de paire de pôles de l'anneau magnétique.

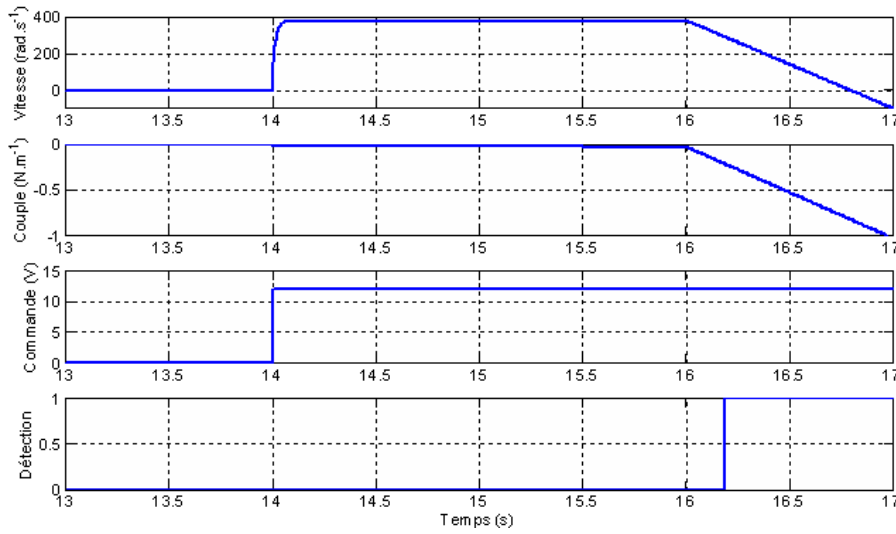


FIG. 4.5 – Déplacement avec obstacle

ce couple sera considéré comme le couple de référence pour la détection par la suite. Le temps de détection de cette méthode est alors de  $457ms$ .

Pour voir l'influence de la régulation, nous avons synthétisé deux régulateurs. Ils sont de type PID, car le système à réguler est linéaire et du premier ordre, avec deux dynamiques différentes.

### La boucle fermée : dynamique lente

Le premier régulateur est calibré en privilégiant la stabilité (pulsation de coupure à  $20rad.s^{-1}$ ) et avec une marge de phase assez élevée ( $M\varphi = 70^\circ$ ).

La Fig. 4.6 représente une simulation de déplacement sans obstacle. La dynamique du système n'a pas été le critère prioritaire. En effet, le temps de montée à 5% est de l'ordre de  $70ms$  lors du démarrage.

Sur la Fig. 4.7, un obstacle est positionné durant la simulation du déplacement<sup>3</sup>. Le principe de détection est le même que celui utilisé pour la détection en boucle ouverte, tout comme ses paramètres. Or, dans ce cas, le couple nécessaire à l'activation d'une alarme est de 160% par rapport au 100% de référence en boucle ouverte. Il y a donc clairement une influence de la boucle fermée sur la détection. Pourtant, nous remarquons que la dynamique du rejet de perturbation n'est pas optimale, car nous avons favorisé la stabilité, et que la mesure de vitesse décroche légèrement après l'impact (erreur d'asservissement de l'ordre de 7% de la consigne  $100ms$  après l'impact).

<sup>3</sup>L'obstacle est symbolisé par une augmentation du couple de charge à partir de la  $16^{ième}s$

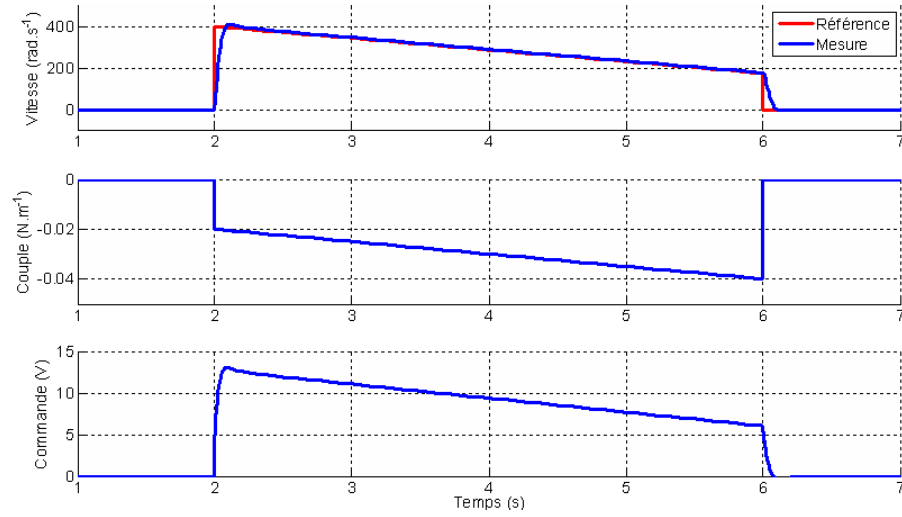


FIG. 4.6 – Déplacement sans obstacle

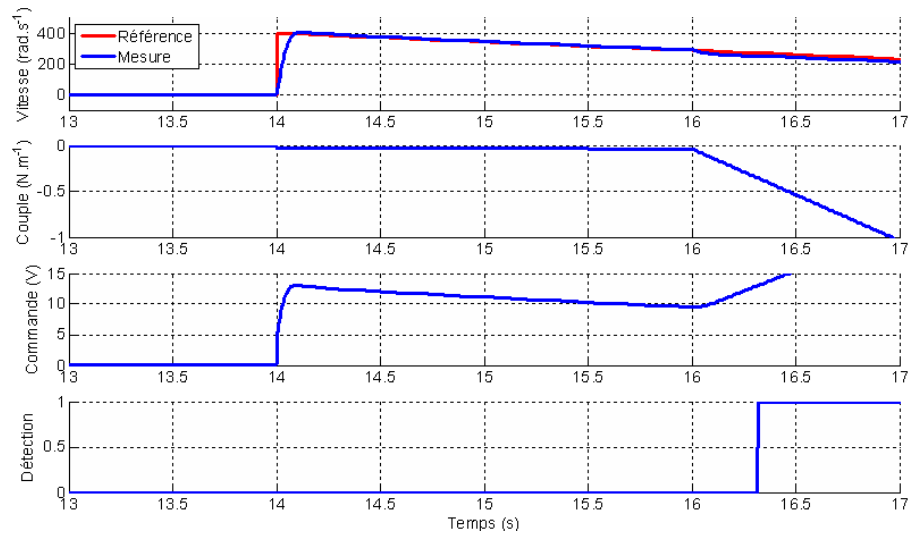


FIG. 4.7 – Déplacement avec obstacle

### La boucle fermée : dynamique rapide

Après les résultats obtenus avec une régulation de vitesse privilégiant la stabilité, nous avons testé une régulation privilégiant la dynamique de la réponse (pulsation de coupure à  $100\text{rad.s}^{-1}$ ) et avec une marge de phase plus faible ( $M\varphi = 60^\circ$ ). Nous avons alors, sur la Fig. 4.8, un temps de montée à 5% de l'ordre de  $36\text{ms}$  lors du démarrage, ce qui est deux fois plus rapide que sur la Fig. 4.6. Nous avons certes plus de dépassement, mais ce n'est pas contradictoire avec notre cahier des charges favorisant la rapidité.

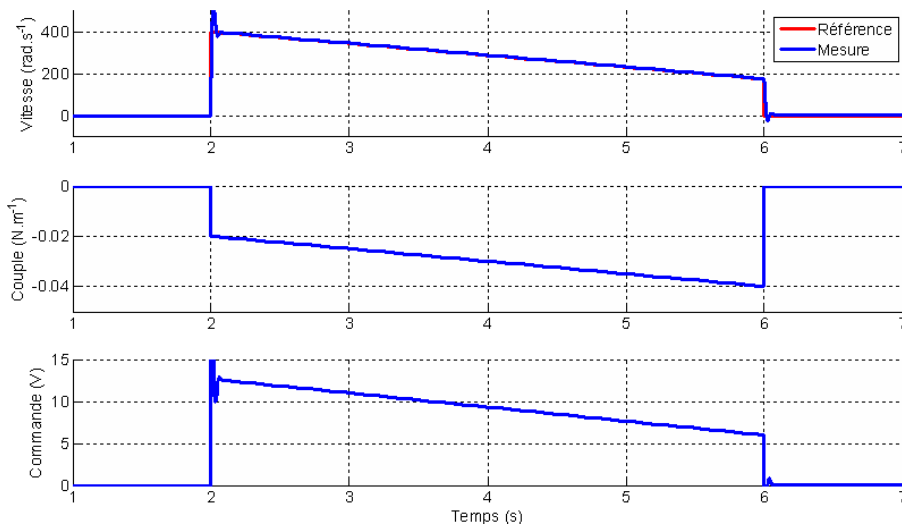


FIG. 4.8 – Déplacement sans obstacle

Maintenant lors d'une simulation de déplacement avec obstacle, Fig. 4.9, nous remarquons que le système est aussi très dynamique en rejet de perturbation. En effet,  $40\text{ms}$  après l'impact, l'erreur d'asservissement est déjà inférieure à 2% de la consigne. Par contre, la rapidité de l'asservissement est problématique pour la détection. En effet, avec un détecteur identique aux 2 précédentes simulations, le couple nécessaire au déclenchement de l'alarme est de 270% par rapport au couple de référence de la détection en boucle ouverte.

### Conclusion

La méthode de détection que nous avons développée dans le chapitre 3 est basée sur une étude précise de la décélération du moteur à courant continu. Si le moteur décélère trop fortement par rapport aux précédentes mesures et/ou par rapport à un déplacement précédent, une alarme est activée. Or,

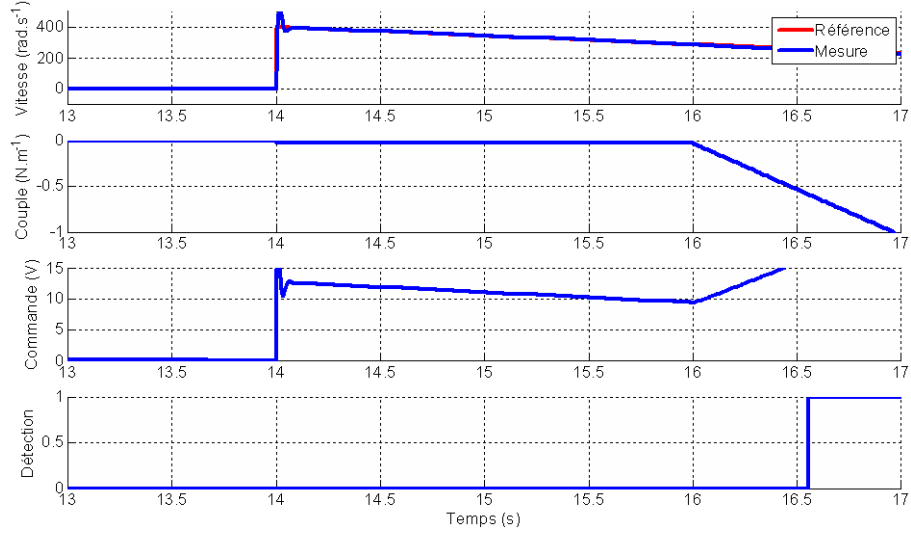


FIG. 4.9 – Déplacement avec obstacle

en asservissant la vitesse de rotation du moteur électrique, la perturbation va être rejetée rapidement, Fig. 4.9, ou un peu moins rapidement, Fig. 4.7, mais dans tous les cas, l'asservissement va tendre à rejeter la perturbation. Finalement, l'impact de l'obstacle sur la vitesse de rotation du moteur va être amoindri et le temps de détection va s'accroître, ce qui n'est pas souhaitable pour la sécurité de l'utilisateur. Nous voyons quand même que la rapidité de l'asservissement a une influence très importante sur la détection. Dans une première approche, si la dynamique de l'asservissement n'est pas un critère trop important, la méthode de détection du chapitre 3 peut être utilisée pour avoir, avec un minimum de développement, une méthode fonctionnelle.

#### 4.2.2 L'analyse du transfert entre l'erreur d'asservissement et la perturbation.

A l'aide des résultats de simulation, l'influence de la régulation sur la détection a été mise en évidence. Ceci peut s'expliquer en effectuant une analyse du système défini par la Fig. 4.10.

Sur ce système,  $M(p)$  est le procédé qui est défini par l'équation (4.3),  $K_m$  est défini par l'équation (4.4),  $C_{orr}(p)$  est le correcteur.  $\Omega_{ref}$  est la référence et  $\Omega$  est la sortie.  $U$  est la commande et  $C$  le couple de charge. Nous avons alors dans le domaine de Laplace :

$$\frac{\epsilon(p)}{C(p)} = -\frac{M(p)}{1 + K_m C_{orr}(p) M(p)} \quad (4.5)$$



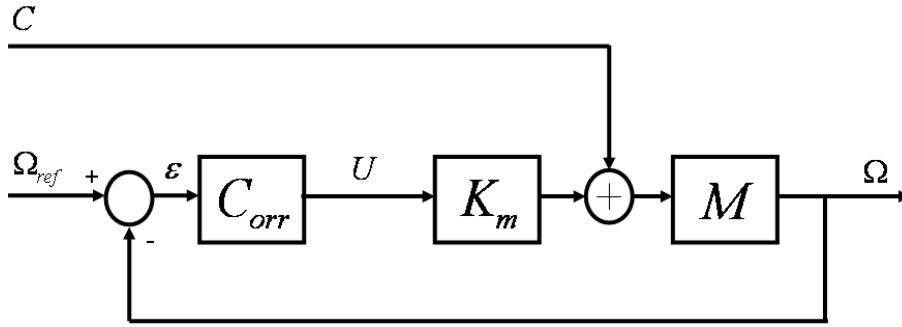


FIG. 4.10 – Système de la Fig. 4.1 asservi

$M(p)$  est défini par l'équation (4.3) et peut se réécrire sous la forme :

$$M(p) = \frac{k_m}{1 + \tau_m p} \quad (4.6)$$

avec  $k_m = \frac{1}{M_f + \frac{K_c K_e}{r}}$  et  $\tau_m = \frac{J}{M_f + \frac{K_c K_e}{r}}$

Pour notre exemple,  $C_{orr}(p)$  est un correcteur de type PI, nous avons alors :

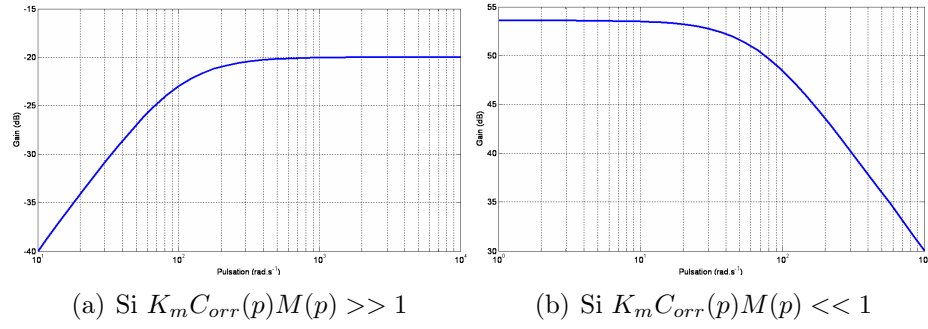
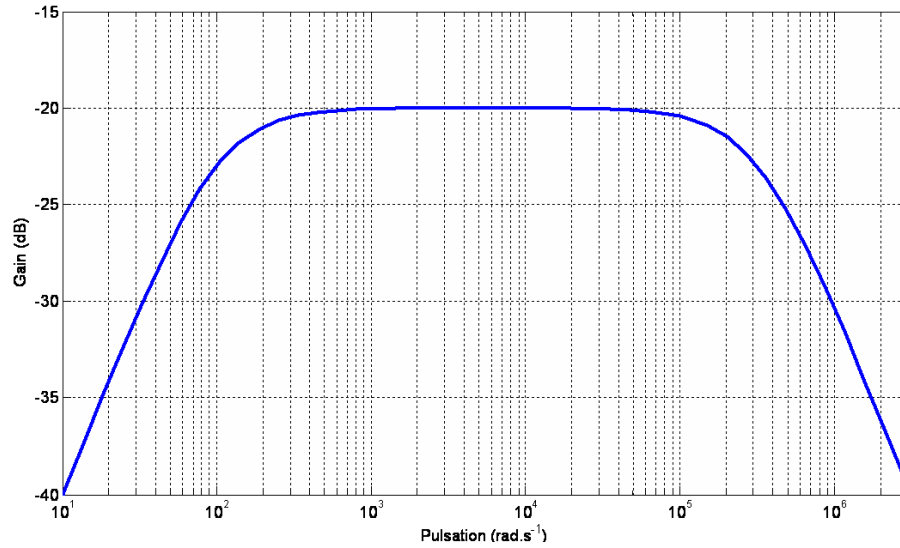
$$C_{orr}(p) = K_p \frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p} \quad (4.7)$$

En fonction de la pulsation d'utilisation, nous pouvons définir deux cas asymptotiques :

$K_m C_{orr}(p) M(p) \gg 1$	$K_m C_{orr}(p) M(p) \ll 1$
Alors le transfert entre l'erreur d'asservissement et le couple peut s'approximer par :	Alors le transfert entre l'erreur d'asservissement et le couple peut s'approximer par :
$\frac{\epsilon(p)}{C(p)} \approx -\frac{1}{K_m C_{orr}(p)},$	$\frac{\epsilon(p)}{C(p)} \approx -M(p),$
Ou encore :	Ou encore :
$\frac{\epsilon(p)}{C(p)} \approx -\frac{\tau_i p}{K_m K_p (1 + \tau_i p)},$	$\frac{\epsilon(p)}{C(p)} \approx -\frac{k_m}{1 + \tau_m p},$

Le comportement global du transfert entre le couple et l'erreur d'asservissement est décrit sur la Fig. 4.12.

A l'aide des approximations en fonction de la pulsation de coupure, nous voyons que la partie haute fréquence de la Fig. 4.12 est liée au modèle. Cette partie est donc une donnée du problème et ne peut pas être modifiée. Par contre, la partie basse fréquence est liée au correcteur. Dans ce cas, les paramètres du correcteur influencent le transfert.  $\tau_i$  va influencer les caractéristiques fréquentielles du transfert, plus  $\tau_i$  est élevé et plus la bande passante

FIG. 4.11 – Diagramme de Bode du transfert  $\frac{\epsilon(p)}{C(p)}$ FIG. 4.12 – Diagramme de Bode du transfert  $\frac{\epsilon(p)}{C(p)}$

du transfert va se décaler en haute fréquence.  $K_p$  va modifier le gain maximal du transfert, plus  $K_p$  est élevé et plus le gain maximal du transfert sera faible.

Nous voyons alors que l'amélioration de l'asservissement va pénaliser le transfert entre l'erreur d'asservissement et le couple de charge et donc la détection.

### 4.3 La détection en boucle fermée - algorithmes spécifiques

Nous avons vu précédemment, 4.2, que pour une application asservie, il est préférable de ne pas reprendre l'algorithme développé dans le chapitre 3, à moins que les contraintes sur la dynamique de l'asservissement soient relativement faibles. Sinon, la détection ne s'effectuera que plus tardivement. Il est donc nécessaire de mettre en place des algorithmes de détection spécifiques à la boucle fermée si les contraintes de dynamique de l'asservissement sont plus fortes.

Il existe plusieurs types d'approches pour répondre à cette problématique. En effet, en fonction du cahier des charges, il est envisageable de prioriser une action par rapport à l'autre. Nous avons vu dans l'énoncé de la problématique dans ce chapitre, 4.2, que la méthode de détection du chapitre 3 peut avoir une sensibilité à la détection correcte si la détection est prioritaire sur l'asservissement. Il existe certains cas inverses, où l'asservissement est plus important que la détection. Il est alors possible de synthétiser un détecteur une fois le correcteur calculé. Ces méthodes sont dites séquentielles, car en fonction du cahier des charges, une synthèse, par exemple celle de l'asservissement, est réalisée en premier lieu, puis une seconde synthèse, la détection dans notre exemple, s'adapte aux contraintes créées par la première.

Par contre, il existe une autre approche qui permet de prendre en compte l'ensemble du cahier des charges, dès le début de la synthèse : c'est l'approche dite simultanée. En effet, il est possible de définir une architecture spécifique permettant de réaliser à la fois l'asservissement et la détection. Lors de la synthèse, le meilleur compromis possible entre les critères d'asservissement et de détection sera réalisé à l'aide d'une optimisation sous contraintes.

#### 4.3.1 L'approche séquentielle

Dans cette partie, la détection et l'asservissement sont réalisés de manière séquentielle. Plus précisément, l'asservissement est réalisé en premier, et la détection en second. Nous verrons si avec une approche spécifique, les

résultats sont différents de ceux obtenus dans la partie 4.2, où la détection est elle aussi synthétisée de manière séquentielle après l'asservissement.

Deux méthodes de détection sont présentées.

La première est un estimateur de l'effort résiduel. A partir de la connaissance de la physique du système et des erreurs d'asservissement, un reconstruteur est développé. Celui-ci donne alors une image du couple de perturbation.

Dans une seconde approche, un observateur original à entrée inconnue est développé. Il nécessite aussi la connaissance du système. L'intérêt de cette méthode va être la possibilité de réglage de la dynamique de l'observation.

### L'estimateur d'effort résiduel

Nous nous intéresserons ici à une estimation de l'effort dit résiduel. Ce dernier est l'effort de réaction supplémentaire subi par l'actionneur lorsqu'un obstacle vient entraver son bon fonctionnement. Il est qualifié ainsi, dans la mesure où la perturbation qu'il engendre subsiste quelques instants malgré les asservissements mis en oeuvre. L'asservissement est réglé pour compenser les seules perturbations nominales (efforts de réaction sans obstacle). Il est alors possible d'estimer l'effort résiduel à partir des erreurs d'asservissement. Cette approche est spécifique à nos applications et elle est basée sur la connaissance du système étudié, [Mangonneaux 09a].

Pour avoir une détection satisfaisante, le temps de détection doit être réduit à son minimum. Nous allons donc utiliser le transfert entre le couple et l'erreur d'asservissement défini dans la partie 4.2.2 par l'équation (4.5). D'après le théorème de superposition, nous avons alors :

$$\begin{aligned} \epsilon(p) = & \frac{1}{1+K_m C_{orr}(p)M(p)} \Omega_{ref}(p) \\ & - \frac{M(p)}{1+K_m C_{orr}(p)M(p)} C_{nom}(p) \\ & - \frac{M(p)}{1+K_m C_{orr}(p)M(p)} C_{obs}(p), \end{aligned} \quad (4.8)$$

avec  $C_{nom}(p) + C_{obs}(p) = C(p)$ , où  $C_{nom}$  désigne le couple de charge nominal et  $C_{obs}$  le couple de charge lié à l'obstacle.

Dans nos expériences,  $\Omega_{ref}$  et  $C_{nom}$  sont des rampes. Le correcteur  $C_{orr}$  ne possédant qu'un intégrateur, une fois le régime transitoire écoulé, il y a une erreur de traînage  $\epsilon_0$ . Si nous supposons que l'obstacle apparaît une fois ce transitoire passé, nous avons :

$$\epsilon(p) = \epsilon_0 - \frac{M(p)}{1 + K_m C_{orr}(p)M(p)} C_{obs}(p). \quad (4.9)$$

Comme nous souhaitons détecter l'obstacle le plus vite possible, nous

travaillons en haute fréquence et une approximation de l'équation (4.9) est alors :

$$\epsilon(p) = \epsilon_0 - M(p)C_{obs}(p). \quad (4.10)$$

Ce qui peut s'écrire :

$$C(p) = (\epsilon(p) - \epsilon_0) \frac{-1}{M(p)} \quad (4.11)$$

Comme une dérivée du signal d'erreur intervient dans l'expression du couple, il est nécessaire de filtrer (au moins par un filtre passe-bas) le signal final afin d'adoucir l'estimation de couple, mais aussi pour prendre en compte les frottements secs définis dans la partie 2.1.2. Ici, nous utilisons à la fois un filtre passe-bas et un filtre passe-haut :

$$\hat{C}_{Obstacle}(p) = -\frac{1}{1 + \tau_b p} \frac{\tau_h p}{1 + \tau_h p} \left( Jp + M_f + \frac{K_c K_e}{r} \right) (\epsilon(p) - \epsilon_0) \quad (4.12)$$

avec les constantes  $\tau_b = 10ms$  et  $\tau_h = 5s$  permettant de fenêtrer l'observation sur  $[0, 2Hz; 100Hz]$  dans notre application.

La détection s'effectue ensuite par comparaison entre la reconstruction de l'effort et des seuils fixés en fonction du sens de déplacement. Les limitations imposées par les normes seront judicieusement employées pour calibrer ces seuils <sup>4</sup>. Les seuils serviront aussi à compenser les erreurs d'asservissement non liées à la présence d'obstacle.

Nous avons alors le résultat présenté sur la Fig. 4.13, pour un asservissement privilégiant la stabilité<sup>5</sup>. L'obstacle apparaît toujours à la 16<sup>ième</sup> s.

La détection s'effectue à un couple équivalent à 26% du couple de détection en boucle ouverte.

Pour un asservissement privilégiant la dynamique de la réponse<sup>6</sup>, nous avons le résultat présenté Fig. 4.14.

La détection s'effectue à un couple équivalent à 27% du couple de détection en boucle ouverte.

L'asservissement a toujours une influence sur la détection, mais bien moindre qu'avec la méthode employée pour un système en boucle ouverte. De plus, la détection est, sur ce cas simplifié, plus performante que la détection en boucle ouverte.

---

<sup>4</sup>Pour rappel, l'instant de détection n'est pas l'instant de l'effort maximum sur l'obstacle, il faut prendre en compte l'inertie du système.

<sup>5</sup>Le régulateur est identique à celui utilisé dans la partie 4.2 : pulsation de coupure à  $20rad.s^{-1}$  et  $M\varphi = 70^\circ$

<sup>6</sup>Le régulateur est identique à celui utilisé dans la partie 4.2 : pulsation de coupure à  $100rad.s^{-1}$  et  $M\varphi = 60^\circ$

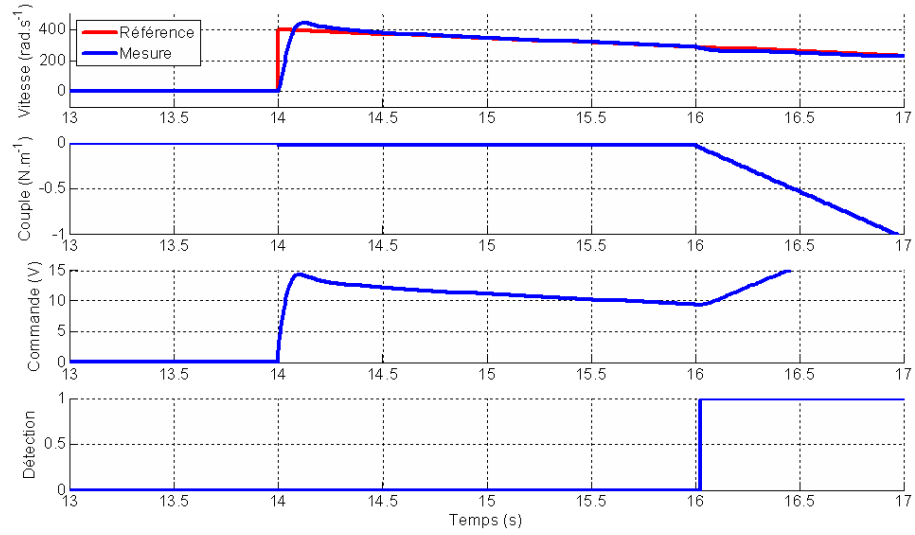


FIG. 4.13 – Déplacement avec obstacle, méthode : effort résiduel, asservissement : stabilité

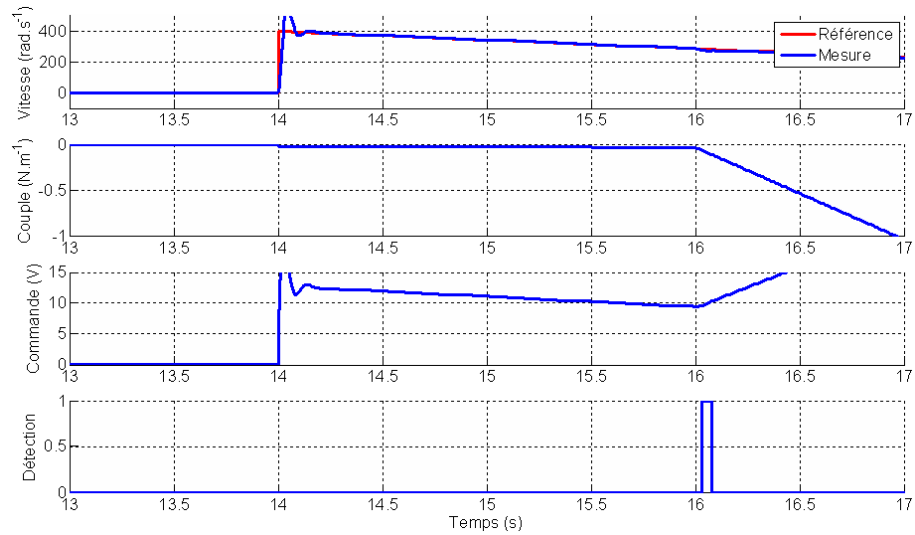


FIG. 4.14 – Déplacement avec obstacle, méthode : effort résiduel, asservissement : dynamique

### L'observateur *Controler Output Observer* (C2O)

L'observateur *Controler Output Observer* ou observateur C2O est une application particulière de la famille des observateurs d'entrées inconnues.

D'une manière générale, le premier concept d'observateur développé par [Luenberger 64] observe les états d'un système connu à entrées connues. Ensuite d'autres travaux développés par [Stein 88] se sont intéressés à l'observation de système à entrées inconnues. Les méthodes développées possèdent des restrictions fortes sur les mesures nécessaires, rendant difficile leur mise en application sur des systèmes industriels complexes. Par la suite, [Daafouz 06] a simplifié les conditions d'observabilité des systèmes à entrées inconnues. Une méthode spécifique à l'observation d'entrées inconnues a été développée par [Akhenak 04]. De même, les travaux de [Cherrier 06] reposent sur l'observation des entrées inconnues pour une application de communication sécurisée. [Orjuela 08] utilise pour ses travaux un observateur PI pour observer les entrées inconnues de son système non-linéaire.

La méthode qui est présentée ici, a été co-développée par le professeur Margolis et par le groupe PSA Peugeot Citroën. Le but de cet observateur est d'observer une entrée non mesurée du système. Pour ce faire, nous allons utiliser une structure particulière définie par la Fig. 4.15<sup>7</sup>. Cette méthode a été décrite dans [Ozkan 05] et [Ozkan 08].

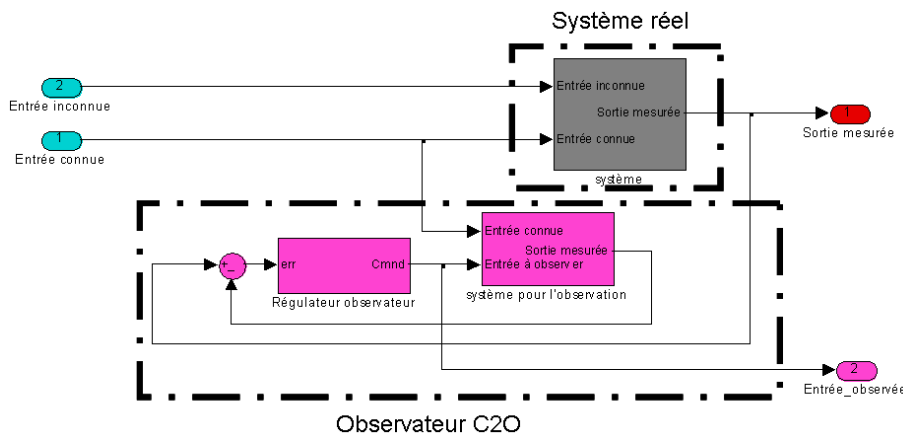


FIG. 4.15 – Structure de l'observateur C2O.

L'avantage de l'observateur C2O réside dans sa conception. En effet, ce n'est pas un observateur d'état qui est synthétisé, mais un régulateur. Dans

<sup>7</sup>Le schéma de la Fig. 4.15 est composé d'une entrée connue et inconnue, pour correspondre à notre problématique.

ces conditions, le système doit répondre aux contraintes liées à l'asservissement et non à des contraintes spécifiques à la détection de système à entrée inconnue.

Cette méthode a déjà été appliquée dans de nombreux cas de systèmes à entrée inconnue pour l'étude :

- de l'effort entre la roue et le sol, en dynamique véhicule comme dans [Pengov 07],
- du système de direction comme dans [Pengov 08a] et [Pengov 08b],
- du couple d'entrée d'une boîte de vitesse dans [Pengov 09].

Le principe de la méthode, annexe A, est alors d'asservir un système dont l'entrée de commande est l'entrée inconnue, Fig. 4.15. En effet, un modèle est créé pour l'observation. Ce modèle possède la même sortie que le système réel et l'entrée de commande est la grandeur qui doit être observée. La référence de ce régulateur particulier est la mesure réalisée sur le système réel. La commande de ce régulateur est alors la grandeur observée. La précision de l'observation dépend donc de la précision du modèle utilisé pour l'observation, et de la dynamique du régulateur de l'observation.

Sur le système étudié dans ce chapitre, défini par les équations (4.4) et (4.3), le système pour l'observation est déjà connu. En effet, l'équation (4.3) lie déjà le couple, *entrée inconnue qui doit être observée*, et la vitesse, *sortie du système mesuré*. Il y a donc deux régulateurs à synthétiser :

- le premier pour l'asservissement sur le système défini par l'équation (4.4),
- le second pour la détection sur le système défini par l'équation (4.3).

La dynamique de la détection est alors prise en compte par la dynamique du régulateur de l'observateur.

Le schéma final est donc présenté sur la Fig. 4.16. Il y a les deux régulateurs ainsi que le système réel et le modèle pour l'observation.

Le régulateur pour l'observateur de C2O est un PI. Il a été synthétisé avec les critères suivants : pulsation de coupure à  $20\text{rad.s}^{-1}$  et  $M\varphi = 60^\circ$ , pour avoir une convergence de l'observation compatible avec la détection. Ce régulateur va maintenant être testé avec deux régulateurs différents pour l'asservissement de vitesse.

Nous avons le résultat présenté Fig. 4.17, avec l'observateur C2O et un asservissement privilégiant la stabilité<sup>8</sup>. La première courbe propose la référence et la mesure de la vitesse de rotation du moteur électrique, la seconde présente le couple appliqué au système et le couple observé, et enfin la dernière courbe présente la commande.

---

<sup>8</sup>Le régulateur est identique à celui utilisé dans la partie 4.2 : pulsation de coupure à  $20\text{rad.s}^{-1}$  et  $M\varphi = 70^\circ$



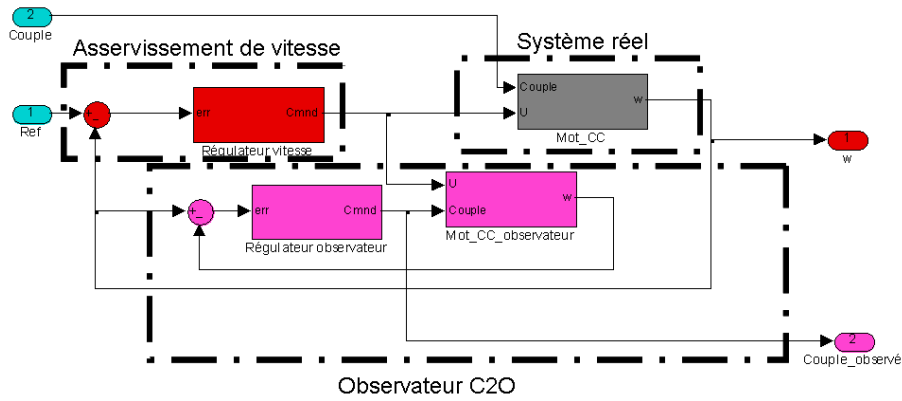


FIG. 4.16 – Structure de l'observateur C2O en boucle fermée.

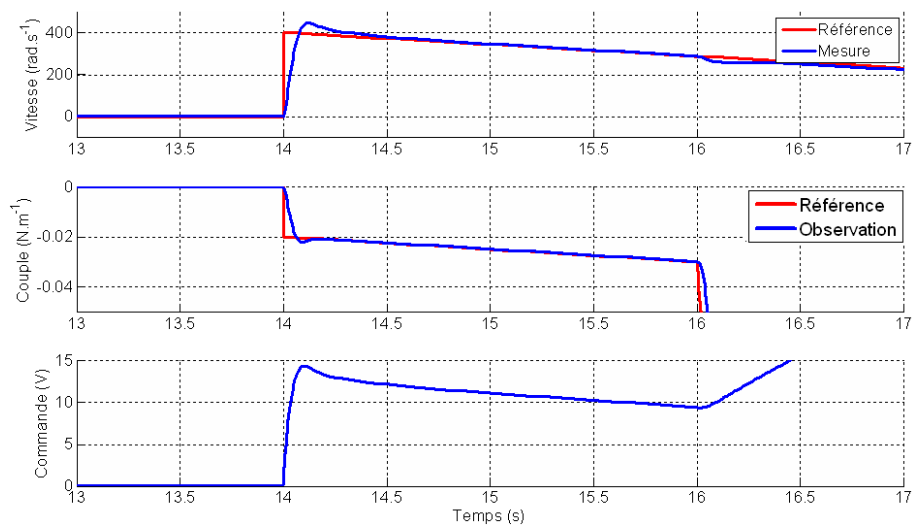


FIG. 4.17 – Déplacement avec obstacle, méthode : observateur C2O, asservissement : stabilité

Il n'est pas immédiat de comparer cette méthode par rapport au couple de détection de référence. En effet, le seuil de détection est fixé de manière arbitraire à 3 fois la valeur du couple de charge lors de l'impact pour avoir une photographie de l'efficacité de la méthode à une valeur de couple supérieur au couple nominal. Le temps de détection est dans ce cas de  $91ms$  contre  $457ms$  pour la référence. Le temps de détection est donc plus faible et une observation continue du couple de charge est disponible de surcroît.

Cependant, nous pouvons tracer une courbe du temps de détection en fonction du couple de charge de seuil (partie 4.3.3, Fig. 4.24).

Avec l'observateur C2O et un asservissement privilégiant la dynamique<sup>9</sup>, nous avons le résultat présenté Fig. 4.18.

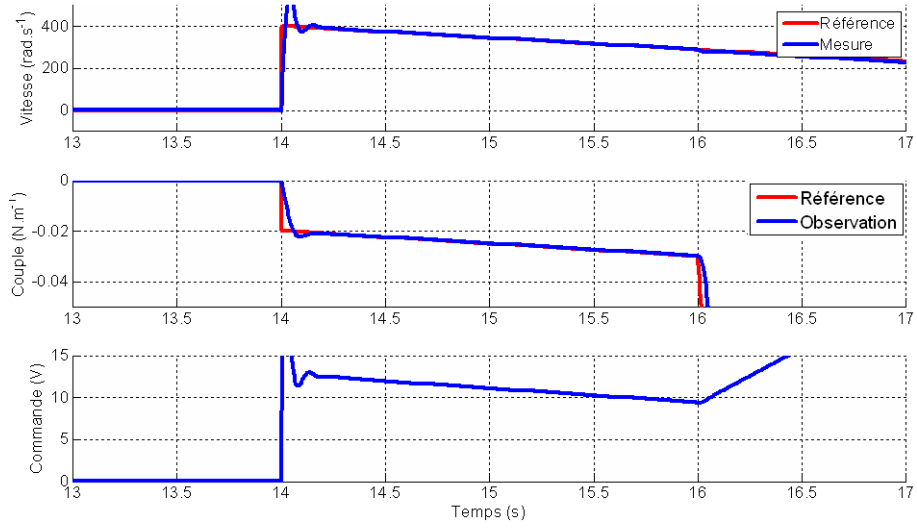


FIG. 4.18 – Déplacement avec obstacle, méthode : observateur C2O, asservissement : dynamique

Le temps de détection est ici aussi de  $91ms$ .

En comparant les deux figures, Fig. 4.17 et Fig. 4.18, nous remarquons que les deux couples observés sont identiques. Sur cet exemple, l'asservissement n'a aucune influence sur la détection.

Nous pouvons calculer la fonction de transfert qui lie l'alarme, c'est-à-dire le couple observé, à la perturbation, c'est-à-dire le couple. Elle est définie par :

$$\frac{Alarme(p)}{Perturbation(p)} = \frac{C_{orr}^{obs}(p)M(p)}{1 + C_{orr}^{obs}(p)M^{obs}(p)} \frac{1 + C_{orr}(p)M_1^{obs}(p)}{1 + C_{orr}(p)M_1(p)} \quad (4.13)$$

<sup>9</sup>Le régulateur est identique à celui utilisé dans la partie 4.2 : pulsation de coupure à  $100rad.s^{-1}$  et  $M\varphi = 60^\circ$

avec  $M(p)$  la fonction de transfert entre la sortie et l'entrée de perturbation, définie par l'équation (4.3), et  $M_1(p)$  la fonction de transfert entre la sortie et l'entrée de commande, définie par l'équation (4.4).  $M^{obs}(p)$  et  $M_1^{obs}(p)$  sont les fonctions de transfert du modèle de l'observateur représentant respectivement  $M(p)$  et  $M_1(p)$ .  $C_{orr}(p)$  est le correcteur de l'asservissement et  $C_{orr}^{obs}(p)$  est le correcteur de l'observateur.

Si le modèle de l'observateur est identique au modèle réel, alors  $M^{obs}(p) = M(p)$  de même,  $M_1^{obs}(p) = M_1(p)$ . Dans ce cas, nous pouvons écrire :

$$\frac{Alarme(p)}{Perturbation(p)} = \frac{C_{orr}^{obs}(p)M(p)}{1 + C_{orr}^{obs}(p)M(p)} \quad (4.14)$$

Ce qui veut dire que si le correcteur de l'observateur est correctement synthétisé et que le modèle pour l'observateur est parfait, alors la sortie d'Alarme est quasiment une image de l'entrée de Perturbation.

### 4.3.2 L'approche simultanée - Le correcteur à 4 paramètres

Le correcteur à 4 paramètres<sup>10</sup>, Fig. 4.19, est une structure de contrôleur spécifique. Les deux entrées du contrôleur sont l'erreur d'asservissement et la mesure, les sorties étant la commande du système et le signal de résidu.

Les premiers travaux relatant une approche simultanée pour la génération d'une commande et d'un résidu ont été initiés par [Nett 88] et [Jacobson 91]. Ces travaux ont été menés, en premier lieu, sur des systèmes à paramètres connus. Ensuite, [Tyler 94] a étendu ces travaux aux systèmes à paramètres incertains.

La Fig. 4.19 représente la structure du contrôleur à 4 paramètres. Le système est représenté par la fonction de transfert  $G$ , où  $u$  et  $z$  représentent respectivement l'entrée et la sortie du système,  $\omega$  est une entrée exogène et  $y$  est la sortie mesurée.  $ref$  est l'entrée de référence et  $res$  est le résidu. A ceci viennent s'ajouter  $n_a$  et  $n_s$  qui représentent respectivement les défauts actionneurs et capteurs. Le correcteur est représenté par ses 4 paramètres  $K11$ ,  $K12$ ,  $K21$ ,  $K22$ .

En transformée de Laplace, les relations qui lient la commande et le résidu à la référence et à la mesure sont :

$$U^*(p) = \begin{bmatrix} K21(p) & K22(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} REF(p) \\ Y^*(p) \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

<sup>10</sup>Dans la littérature, ces 4 paramètres sont définis comme 4 correcteurs fréquentiels.

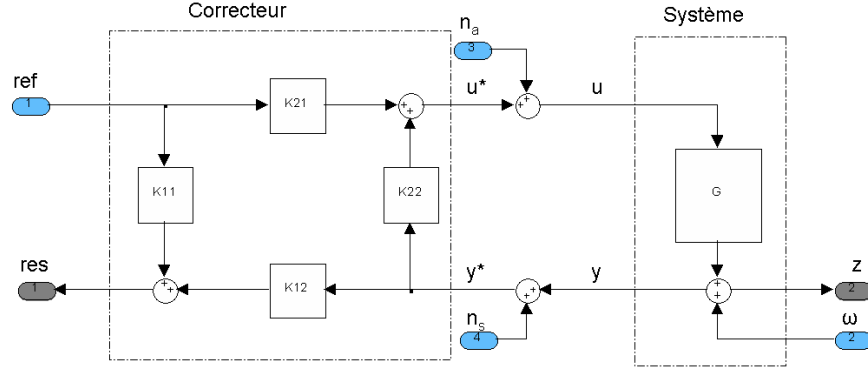


FIG. 4.19 – Structure du contrôleur à 4 paramètres

$$RES(p) = \begin{bmatrix} K11(p) & K12(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} REF(p) \\ Y^*(p) \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Le cahier des charges à respecter lors de la synthèse de ce régulateur se décompose ainsi :

- La poursuite de trajectoire doit être assurée (la sortie suit la référence),
- La détection de défauts doit fonctionner (le résidu suit les défauts).

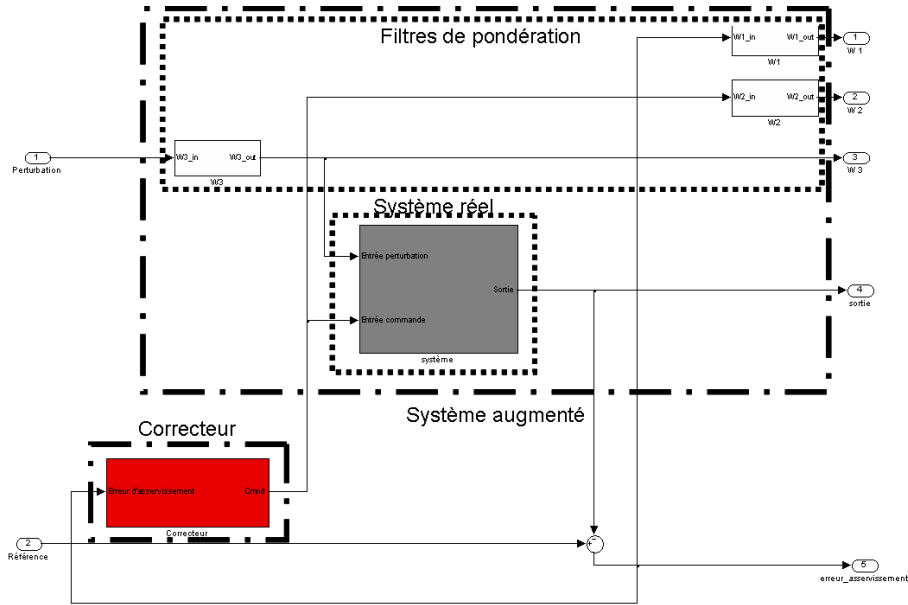
Pour réaliser alors la synthèse des 4 paramètres du correcteur, [Nett 88], [Jacobson 91] et [Kilsgaard 96] ont appliqué les méthodes d'optimisation  $H_\infty$ . En effet, la méthode d'optimisation  $H_\infty$  permet d'optimiser au mieux les 4 paramètres de manière à répondre au cahier des charges qui a été fixé. Lors de la synthèse  $H_\infty$ , il est important de définir judicieusement les filtres de pondération utilisés pour la synthèse. De même, la définition de la procédure d'augmentation du procédé va être importante pour atteindre le cahier des charges souhaité.

En effet, la théorie de la synthèse  $H_\infty$  utilisée ici, s'appuie sur une approche standard à l'aide de fonctions de pondération, telle qu'on la trouve décrite dans [Duc 99]. Dans ce contexte, les fonctions de pondération vont traduire l'ensemble du cahier des charges, et la synthèse  $H_\infty$  va assurer que l'ensemble des contraintes est inférieur en norme  $\infty$  à une valeur donnée  $\gamma$ .

Dans une synthèse  $H_\infty$  classique pour un asservissement avec rejet de perturbation, les filtres de pondération sont généralement définis, Fig. 4.20, de la manière suivante :

1. un filtre sur l'erreur d'asservissement, pour fixer la dynamique de l'asservissement ainsi que les contraintes statiques,
2. un filtre sur la commande, pour fixer la dynamique de la commande et gérer la saturation de ladite commande,

3. un filtre sur l'entrée de perturbation, pour gérer au mieux le rejet de perturbation souhaité.

FIG. 4.20 – Structure pour une synthèse  $H_\infty$  de correcteur

Le correcteur ainsi généré a une entrée, l'erreur d'asservissement, et une sortie, la commande.

Pour réaliser la détection et l'asservissement à l'aide d'un correcteur à 4 paramètres, il a fallu créer une structure originale car le cahier des charges est différent. En se basant sur les travaux de [Nett 88] et [Tyler 94] pour la théorie du correcteur 4 paramètres et sur les travaux de [Duc 99] pour la théorie de la synthèse  $H_\infty$ , nous proposons alors une nouvelle structure composée de trois filtres de pondération :

1. d'un filtre sur l'erreur d'asservissement, c'est la première contrainte sur l'asservissement, identique à une synthèse classique,  $w_1$ ,
2. d'un filtre sur la commande, comme précédemment, pour fixer la dynamique de la commande et gérer sa saturation, identique à une synthèse classique,  $w_2$ ,
3. d'un filtre sur l'erreur entre l'alarme et l'entrée de perturbation (c'est la nouvelle contrainte pour la détection), l'alarme devant suivre la perturbation,  $w_3$ .

Nous avons vu dans l'énoncé de la problématique, que l'asservissement a un effet négatif sur la détection, si celui-ci est très dynamique. Ici, les

contraintes d'asservissement et de détection sont fixées par les trois filtres de pondération. Puis, l'optimisation synthétise le meilleur compromis possible pour respecter les critères d'asservissement **et** de détection. Si la synthèse n'est pas possible, il faut alors fixer des contraintes un peu moins fortes sur l'asservissement ou la détection en fonction des priorités.

Une fois les filtres de pondération définis, la théorie de la synthèse  $H_\infty$  par une approche standard à l'aide de fonctions de pondération s'applique identiquement. Cet avantage va nous permettre d'utiliser les fonctions usuelles de la toolbox *Robust Control* de Matlab, et en particulier la fonction *hinfsyn* pour réaliser la synthèse de notre correcteur.

Une représentation, dans le cas particulier de l'asservissement de la vitesse d'un moteur électrique tout en suivant le couple de charge, est décrite sur la Fig. 4.21.

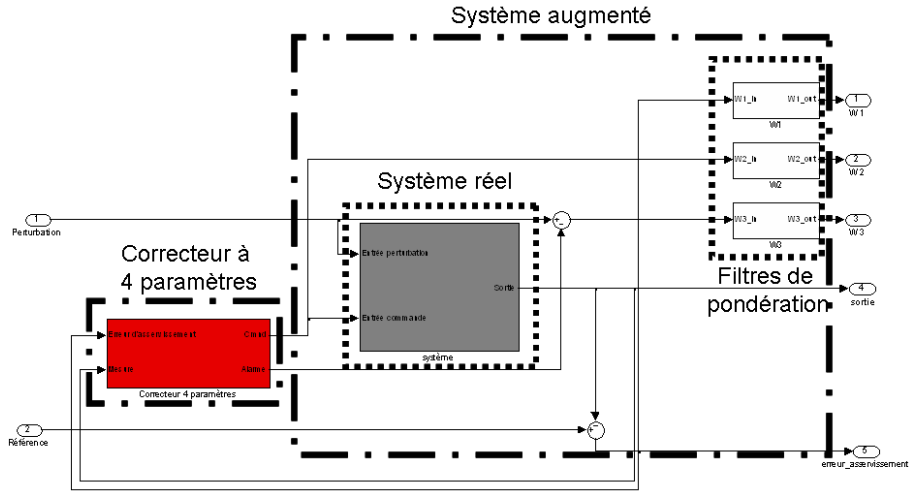


FIG. 4.21 – Structure de synthèse  $H_\infty$  du contrôleur à 4 paramètres

Pour notre exemple de moteur à courant continu, nous avons alors défini un cahier des charges avec une détection plus dynamique que l'asservissement et une commande très dynamique mais saturée, les filtres sont alors :

$$w_1(p) = \frac{1}{1 + p} \quad (4.17)$$

$$w_2(p) = \frac{0.05}{1 + \frac{p}{1000}} \quad (4.18)$$

$$w_3(p) = \frac{1}{1 + \frac{p}{10}} \quad (4.19)$$

Le diagramme de Bode du correcteur issu de cette synthèse est présenté Fig. 4.22.

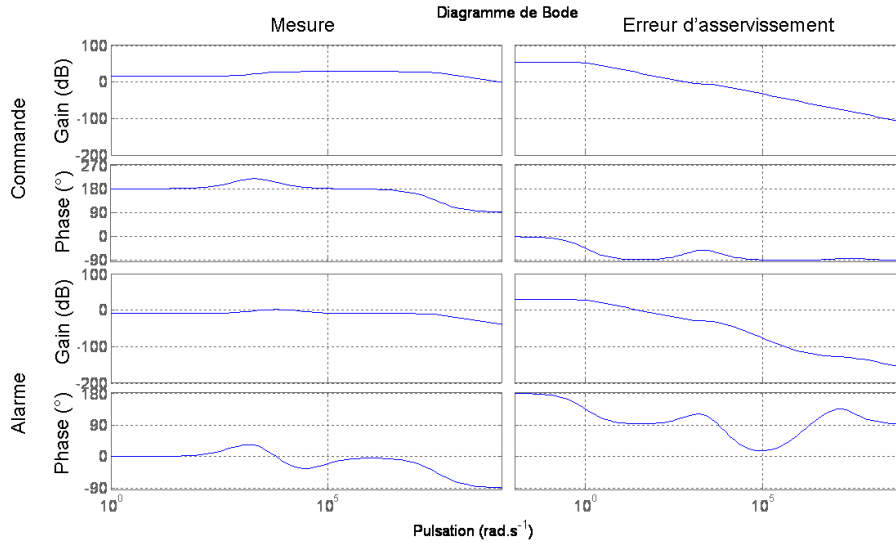


FIG. 4.22 – Diagramme de Bode du correcteur 4 paramètres

Nous remarquons sur la Fig. 4.22 que les performances dynamiques des correcteurs en continu nécessitent une fréquence d'échantillonnage élevée.

L'entrée 1 du correcteur est la mesure, l'entrée 2 est l'erreur d'asservissement. La sortie 1 est la commande et la sortie 2 est l'observation du couple.

La Fig. 4.23 représente la consigne de vitesse et sa mesure sur la première courbe, le couple d'entrée et le couple observé sur la seconde, et enfin la commande sur la troisième.

Sur la Fig. 4.23, nous remarquons que l'asservissement est très bien réalisé, le temps de montée à 5% est de  $37ms$ , et le rejet de la perturbation est très bon. De plus, l'observation du couple de charge est également performante : le temps de convergence à 5% est de l'ordre de  $40ms$ , et, lors de la modification du couple, on n'observe qu'une très faible erreur de traînage,  $< 1\%$ .

En utilisant le même critère que pour l'observateur C2O, le temps de détection pour un couple de seuil équivalent à 3 fois le couple de charge avant impact est de  $61ms$ .

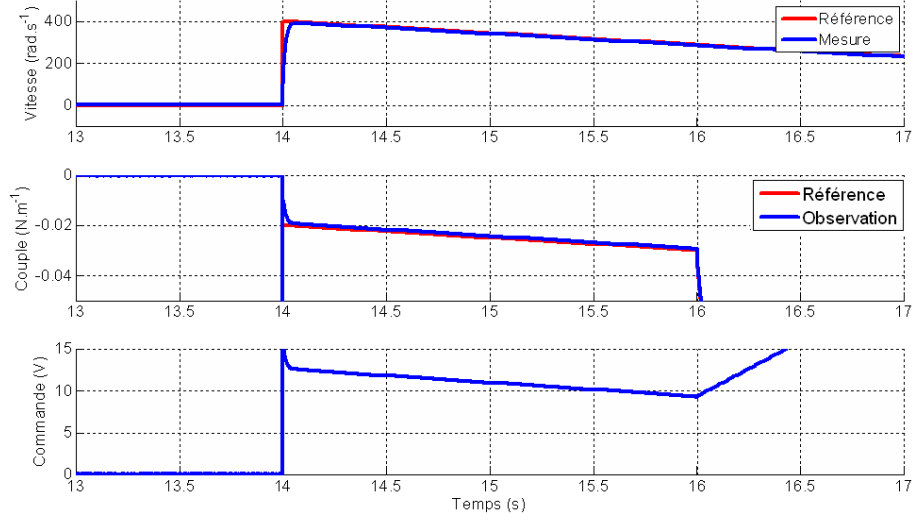


FIG. 4.23 – Déplacement avec obstacle, méthode : correcteur 4 paramètres

### 4.3.3 Comparaison de l'observateur C2O et du correcteur 4 paramètres

#### Comparaison des performances temporelles

Les temps de détection que nous avons donnés pour l'observateur C2O et le correcteur 4 paramètres sont des photographies pour un seuil donné. La Fig. 4.24 représente l'observation du couple d'obstacle par rapport au temps.

Nous avons quatre courbes : la courbe du couple d'observation de référence, une courbe pour le correcteur à 4 paramètres et deux courbes pour l'observateur C2O, une pour chaque asservissement.

Nous remarquons déjà que pour l'observateur C2O, les deux asservissements donnent le même résultat. En effet, le modèle de l'observateur est identique au modèle de simulation, le transfert entre l'alarme et la perturbation est donc simplifié (4.14), il n'y a plus alors de dépendance à l'égard de l'asservissement de vitesse. De plus, nous remarquons que l'écart entre le couple observé par le correcteur 4 paramètres et le couple de référence est quasi nul. Ensuite, nous remarquons que l'écart entre l'observateur C2O et le correcteur à 4 paramètres est constant une fois que les observateurs ont convergé.

#### Relation entre les deux approches

A partir de la Fig. 4.21 et de la définition des correcteurs de la Fig. 4.19, nous pouvons calculer la fonction de transfert qui relie le signal d'alarme à



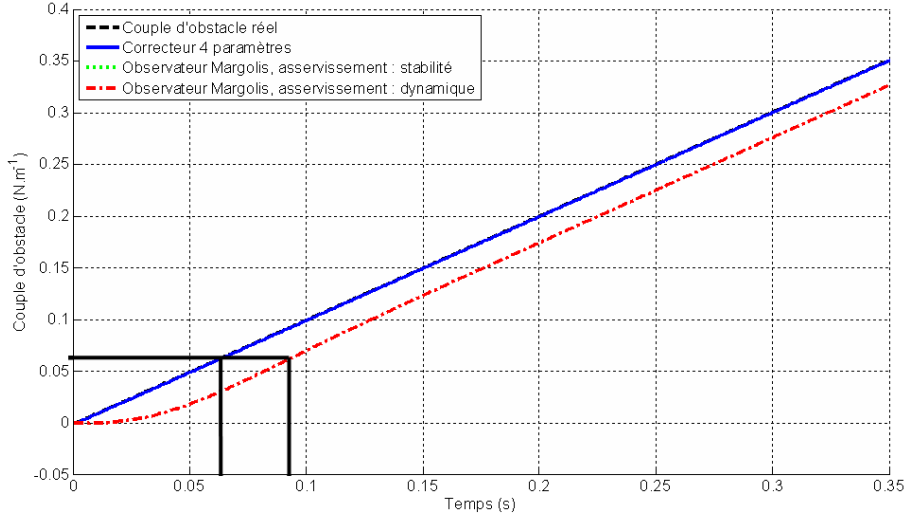


FIG. 4.24 – Comparaison de l'observation du couple : observateur C2O, correcteur 4 paramètres

la perturbation pour le correcteur à 4 paramètres comme nous l'avons fait pour l'observateur C2O dans le chapitre 4.3.1. Nous obtenons alors :

$$\frac{Alarme(p)}{Perturbation(p)} = \frac{(K_{22}(p) - K_{21}(p))M(p)}{1 - (K_{12}(p) - K_{11}(p))M_1(p)} \quad (4.20)$$

avec  $M(p)$  la fonction de transfert entre la sortie et l'entrée de perturbation, définie par l'équation (4.3), et  $M_1(p)$  la fonction de transfert entre la sortie et l'entrée de commande, définie par l'équation (4.4). Nous remarquons qu'il y a plus de degré de liberté qu'avec l'observateur C2O.

En comparant les deux transferts, équations (4.14) et (4.20), nous obtenons le diagramme de Bode de la Fig. 4.25.

Nous remarquons sur ce diagramme que la bande passante du transfert lié au correcteur à 4 paramètres est plus large, ce qui explique la meilleure performance de cette approche. En revanche, ceci peut être préjudiciable sur un système échantillonné. En effet, pour obtenir cette performance, la fréquence d'échantillonnage doit être élevée.

## 4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'influence de l'asservissement sur la détection, et montré la nécessité d'utiliser des méthodes adaptées pour réaliser la détection.

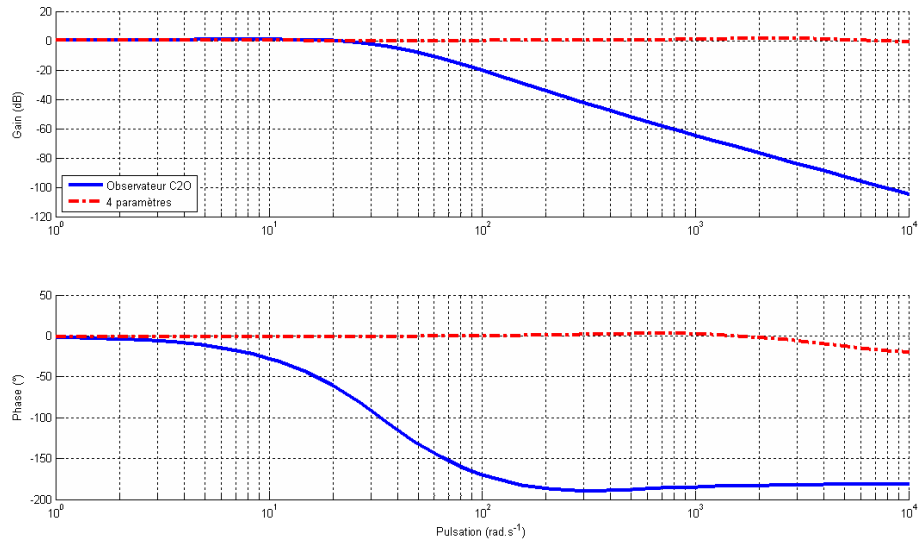


FIG. 4.25 – Comparaison de la performance fréquentielle : observateur C2O, correcteur 4 paramètres

En effet, dans l'énoncé de la problématique, nous avons mis en évidence le lien entre l'asservissement et la détection mise au point sur un système non asservi. Ce lien dépend de la dynamique de l'asservissement : plus elle est importante et moins la détection est performante. Les méthodes de détection mises au point pour un système en boucle ouverte peuvent donc être appliquées sur un système en boucle fermée dans la mesure où l'asservissement n'est pas prioritaire sur la détection. Les performances seront plus faibles, mais peuvent dans une première approche apporter des résultats convenables.

Nous avons, par la suite, proposé trois méthodes spécifiques aux systèmes asservis. La première est un estimateur de l'effort résiduel à partir des erreurs d'asservissement. C'est la connaissance des phénomènes physiques qui gouvernent le système, qui est importante avec cette méthode. L'asservissement est réalisé en premier, mais sa dynamique n'est pas privilégiée. Ensuite, l'estimateur peut être synthétisé et donne des résultats corrects dans notre exemple. La seconde méthode présente un observateur d'entrée inconnue, l'observateur C2O. Cette méthode originale permet de réaliser un observateur en synthétisant un régulateur. La dynamique de l'asservissement et celle de la détection sont respectivement réglées à l'aide du régulateur de l'asservissement et du régulateur de l'observateur C2O. La dernière méthode est un correcteur à 4 paramètres combinant l'asservissement et la détection. La synthèse se réalise de manière simultanée, en optimisant les 4 paramètres suivant un cahier des charges donné. Les résultats de cette méthode sont les

meilleurs. De plus, une observation du couple de charge est disponible en continu. Ces trois méthodes ont été utilisées sur un cas simple et montrent leurs performances aussi bien en termes de suivi de trajectoire qu'en détection.

Dans la suite, nous allons confronter ces méthodes sur une application : la porte latérale coulissante motorisée.



## Chapitre 5

Application avec asservissement -  
la Porte Latérale Coulissante  
Motorisée (PLCM)  
[Confidentielle]

Partie CONFIDENTIELLE

## Chapitre 6

# Conclusions générales et Perspectives

Ces travaux de thèse initiés par PSA Peugeot Citroën avaient pour objectif de définir une méthode générique de détection d'obstacle sur des systèmes d'ouvrants pilotés. Cette méthode n'est pas destinée à remplacer les méthodes développées par les fournisseurs et utilisées sur les véhicules de série. Son intérêt est de pouvoir définir au mieux un cahier des charges pour la réalisation par les fournisseurs d'une méthode de détection, tout en connaissant les problèmes de détection liés à un ouvrant au plus tôt dans sa conception. Deux principaux problèmes se sont alors posés :

1. La pauvreté de l'information issue du capteur présent sur certaines applications non asservies,
2. La gestion de la détection sur les systèmes asservis.

Ainsi, dans l'application du lève-vitre électrique, l'information disponible est trop faible pour mettre en place des stratégies à base d'observateur. En effet, la détection doit s'effectuer sur un temps correspondant, au maximum, à l'acquisition de 5 informations en provenance du capteur. A partir de la connaissance du système et de la formalisation du principe de mesure, il a, toutefois, été possible de développer une méthode qui, malgré sa simplicité, permette une détection efficace. L'intérêt principal de cette méthode réside dans le réglage de ses paramètres. En effet, elle ne nécessite le réglage que de 8 paramètres, dont 4 paramètres caractéristiques du moto-réducteur. Nous avons validé notre approche sur plusieurs ouvrants aux caractéristiques diverses.

Par la suite, nous avons travaillé sur une application asservie : la porte latérale coulissante motorisée. Comme il y a un asservissement de vitesse,

l'information disponible est plus riche. Ce gain d'information nous a permis de développer des méthodes de détection spécifiques. Nous avons d'abord appliqué une méthode originale, co-développée par le professeur Margolis et par le groupe PSA Peugeot Citroën : l'observateur C2O, *Controler Output Observer*. Cette méthode permet d'observer une entrée inconnue du système. Son originalité réside dans l'architecture d'asservissement, où l'entrée inconnue observée est en fait la sortie d'un régulateur. Sur un système linéaire aux paramètres connus, nous avons vu que l'asservissement ne perturbe pas l'observation. Par la suite, nous avons développé une méthode combinant la détection et l'asservissement. La structure à 4 paramètres utilisée permet d'optimiser simultanément les paramètres liés à la détection et à l'asservissement à l'aide d'une synthèse  $H_\infty$  adaptée. Le choix des filtres de pondération permet de fixer à la fois les contraintes de détection et d'asservissement. Les résultats, en simulation et sur moyen d'essais, se sont révélés positifs. Le gain principal de la démarche réside dans le temps de réglage des paramètres de détection, considérablement réduit. De plus, l'observation en continu de l'effort extérieur a permis le développement d'une fonction d'assistance au déplacement. Cette fonction innovante, à destination commerciale, peut constituer une plus-value pour les ouvriers pilotés.

Plusieurs perspectives peuvent être évoquées à la suite de ces travaux.

Au niveau théorique, la synthèse de l'observateur C2O a été réalisée, dans ces travaux, en linéaire. L'observateur étant utilisé par la suite sur des systèmes majoritairement non-linéaires, une synthèse non-linéaire permettra d'améliorer l'observation. De même, un asservissement robuste peut permettre de valider la robustesse de l'observation et d'étendre l'observation aux systèmes incertains. A propos de la méthode à 4 paramètres, la détection sur les systèmes asservis permet de s'affranchir de la problématique de couplage entre la détection et l'asservissement. Là aussi, une extension aux systèmes non-linéaires peut être intéressante en fonction des applications.

Au niveau Automobile, nous avons vu, d'une manière générale, que le capteur a un rôle très important dans la détection. Il faut donc en permanence adapter les méthodes de détection en fonction des évolutions technologiques. Ainsi le SMART-MOS, qui est un fusible piloté fournissant une image du courant qui le traverse, peut être utilisé dans l'architecture de commande des lève-vitres. Nous avons alors commencé un travail, [Nouillant 09], visant à développer une stratégie de détection d'obstacle particulière basée sur l'utilisation de ce capteur. Ces travaux devront être poursuivis pour concevoir un



observateur qui détecte les obstacles et qui estime la position de l'ouvrant, en particulier les positions haute et basse, ceci en présence de dispersions (dispersions composants, variations de la température, ...).



# Bibliographie

- [Akhenak 04] A. Akhenak, M. Chadli, J. Ragot & D. Maquin. *Estimation d'état et d'entrées inconnues d'un système non linéaire, représenté sous forme multimodèle*. Tunisie, 2004. CIFA.
- [Atmel 06a] Atmel. *Anti-pinch algorithm for AVR adaptation procedure*. Rapport technique, Atmel, 2006.
- [Atmel 06b] Atmel. *Anti-pinch system for electrical window*. Rapport technique, Atmel, 2006.
- [Baïkeche 05] H. Baïkeche, B. Marx, D. Maquin & J. Ragot. *Placement de capteurs pour le diagnostic des systèmes linéaires en boucle fermée*. Lyon, 2005. JD MACS.
- [Baïkeche 07] Hamid Baïkeche. *Diagnostic des systèmes linéaires en boucle fermée*. PhD thesis, Institut national polytechnique de lorraine, Oct 2007.
- [Borne 92] P. Borne, G. Dauphin-Tanguy, J.P. Richard, F. Rotella & I. Zambettakis. *Modélisation et identification des processus*. Technip, 1992.
- [Bouamra 98] Mohamed Bouamra, Jésus Zaldua, Javier Vicandi & Jésus Iriondo. *Dispositif de sécurité associé à un panneau coulissant entraîné par un moteur électrique et procédé de mise en oeuvre d'un tel dispositif*. Patent Pending, dec 1998. EP 1 011 184 A1.
- [Caussat 05] Thierry Caussat & Jon Everhart. *Safety with Convenience : Applying Low Cost Obstacle Detection Technology to Powered Closure Systems with Express Motion*. SAE Word Congress and Exhibition, 2005.
- [Chale Gongora 06] Hugo Chale Gongora & Vincent Le Lay. *Système et procédé de pilotage d'un ouvrant motorisé pour véhicule automobile*. Patent Pending, dec 2006. 2 895 100.

- [Chang 95] H.Y. Chang & J.O. Song. *Glass drop design for automobile windows - design of glass contour, shape, drop motion and motion guidance systems*. SAE 951110, 1995.
- [Chavanne 07] Sylvain Chavanne. *Modélisation mécatronique générique d'un système de PLCM sous Matlab/Simulink*. Rapport technique, Sherpa Engineering, 2007.
- [Cherrier 06] Estelle Cherrier. *Estimation de l'état et des entrées inconnues pour une classe de systèmes non linéaires*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2006.
- [Choby 05] David Choby. *Power closure with anti-pinch*. Patent Pending, mar 2005. US 2006 / 0208678 A1.
- [Cook 98] Roger-Joseph Cook, Alan Jeffery & Hassan Arghavani-Badrabadi. *System and method for controlling vehicle sliding door*. Patent Pending, jan 1998. US 5 708 338.
- [Daafouz 06] Jamal Daafouz, Michel Fliess & Gilles Millerioux. *Une approche intrinsèque des observateurs linéaires à entrées inconnues*. Bordeaux, 2006. CIFA.
- [Dauphin-Tanguy 99] Geneviève Dauphin-Tanguy. *Les bond graphs et leur application en mécatronique*. Technique de l'ingénieur, pages 1–24, 1999.
- [De Frutos 03] Xavier De Frutos. *Anti-pinch window drive circuit*. Patent Pending, jan 2003. US 2003 / 0137265 A1.
- [Delprat 02] Sébastien Delprat. *Evaluation de stratégies de commande pour véhicules hybrides parallèles*. PhD thesis, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, Jan 2002.
- [Ding 09] S.X. Ding. *Integrated design of control structures and embedded diagnosis*. Barcelona, Spain, July 2009. Fault detection, supervision and safety to technical processes.
- [Duc 99] Gilles Duc & Stéphane Font. *Commande  $h_\infty$  et  $\mu$ -analyse*. Hermes, 1999.
- [Franzan 06] Gunter Franzan. *Détection d'anti-pincement opérant sur le principe de la comparaison du coefficient d'une régulation par modulation de largeur d'impulsions*. Patent Pending, jun 2006. 2 894 094.

- [Gerbetz 01] Robert Gerbetz. *Method of compensating for abrupt load changes in an anti-pinch window control system*. Patent Pending, jun 2001. US 2002 / 0190680 A1.
- [Guillemard 96] Franck Guillemard. *Présentation d'une méthodologie générale pour l'analyse et la commande des systèmes physiques : application au cas de la suspension oléopneumatique active*. PhD thesis, Université des sciences et technologie de Lille, nov 1996.
- [Guillemard 06] Franck Guillemard & Atilla Yazman. *La méthodologie pour la conception des ouvrants motorisés : intérêt du modèle mécatronique*. CTI - Portes Automobiles et Systèmes Ouvrants, apr 2006.
- [Honma 05] Chiaki Honma, Shintaro Suzuki, Tomoaki Imaizumi & Eiji Itami. *Opening and closing body control device*. Patent Pending, aug 2005. EP 1 566 510.
- [Jacobson 91] C.A. Jacobson & C.N. Nett. *An integrated approach to controls and diagnostics using the four parameter controller*. IEEE Control systems, pages 22–28, 1991.
- [Kent 08] Richard Kent, Stephen Stacey & Chantal Parenteau. *Dynamic Pinch Tolerance of the Phalanges and Interphalangeal Joints*. Traffic Injury Prevention, pages 83–88, jan 2008.
- [Kidokoro 02] Hitoshi Kidokoro. *Controller of automotive power door*. Patent Pending, dec 2002. US 2003 / 0115803 A1.
- [Kikuchi 99] Taizo Kikuchi, Kazunari Ochi, toru Namiki & Tatsumi Skazume. *Method for controlling automotive sliding doors*. Patent Pending, jun 1999. US 6 208 102.
- [Kilsgaard 96] S. Kilsgaard, M.L. Rank, H.H. Niemann & J. Stoustrup. *Simultaneous design of controller and fault detector*. Kobe, Japan, dec 1996. Conference on decision and control.
- [Kim 00] Joon Hyung Kim & Seung Gyong Jeon. *Low-temperature drive characteristics of automotive power window systems*. Proc. Instn Mech Engrs, Vol. 214, Part. D., 2000.
- [Kim 05] U. Kim, C. Krousgrill & L. Mongeau. *Friction-Induced Vibrations of Window Sealing Systems*. SAE 2005-01-2540, 2005.

- [Kliffen 01] Markus G. Kliffen, Henck Becker, Hubert Lamm, Holger Prüssel & Jörg Wolf. *Obstacle Detection for Power Operated Window-Lift and Sunroof Actuation Systems*. SAE Word Congress, 2001.
- [Kobayashi 06] Shigeru Kobayashi & Kazuyuki Hirai. *Opening and closing member control system*. Patent Pending, mar 2006. US 2007 / 0084120 A1.
- [Lee 05] Hye-Jin Lee, Won-Sang Ra, Tae-Sung Yoon & Jin-Bae Park. *Practical pinch torque detection algorithm for anti-pinch window control system application*. Korea, jun 2005. ICCAS.
- [Lepine 86] Gérard Lepine & Jean Michel Saulgeot. *Procédé et dispositif de commande d'un moteur électrique, notamment pour lève vitre automobile*. Patent Pending, sep 1986. 2 604 568.
- [Louis 02] Jean-Paul Louis, Bernard Multon, Yvan Bonnassieux & Michel Lavabre. *Commande des machines à courant continu (mcc) à vitesse variable*. Technique de l'ingénieur, traité génie électrique, pages 1–17, 2002.
- [Luenberger 64] D.G. Luenberger. *Observing the state of a linear system*. IEEE Trans. Mil. Electron., pages 74–80, Apr 1964.
- [Mangonneaux ] Frédéric Mangonneaux, Hervé Guéguen, Pierre Yves Richard & Cédric Nouillant. *Generic anti-pinch detection algorithm for opening part - soumis*. IEEE Transactions on Industrial Electronics.
- [Mangonneaux 09a] Frédéric Mangonneaux, Hervé Guéguen, Pierre Yves Richard & Cédric Nouillant. *Comparaison d'algorithmes de détection assurant la sécurité de l'utilisateur, lors du déplacement d'un ouvrant piloté automobile*. Angers, mars 2009. JD MACS.
- [Mangonneaux 09b] Frédéric Mangonneaux, Cédric Nouillant, Hervé Guéguen & Pierre Yves Richard. *Procédé de pilotage d'un ouvrant de véhicule automobile*. Brevet déposé, Février 2009. 0950691.
- [Mangonneaux 09c] Frédéric Mangonneaux, Cédric Nouillant, Hervé Guéguen & Pierre Yves Richard. *Procédé de pilotage d'un ouvrant de véhicule automobile*. Brevet déposé, Juin 2009. 0954185.

- [Margolis 01] Donald Margolis & Taehyun Shim. *A bond graph model incorporating sensors, actuators, and vehicle dynamics for developing controllers for vehicle safety*. Journal of the Franklin Institute, pages 21–34, May 2001.
- [Nett 88] C.N. Nett, C.A. Jacobson & A.T. Miller. *An integrated approach to controls and diagnostics : the 4-parameter controller*. 1988.
- [Nouillant 09] Cédric Nouillant, Frédéric Mangonneaux, Thibault Meert & Bernard Bavoux. *Système de contrôle pour ouvrant motorisé*. Brevet déposé, Avril 2009. 0952813.
- [Orjuela 08] R. Orjuela, B. Marx, D. Maquin & J. Ragot. *Estimating the state and the unknown inputs of nonlinear systems using a multiple model approach*. Ajaccio, 2008. 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, MED'08.
- [Ozkan 05] Basar Ozkan. *Virtual sensor with application to vehicle systems : estimation via the controller output observer*. PhD thesis, University of California Davis, 2005.
- [Ozkan 08] Basar Ozkan, Donald Margolis & Marco Pengov. *The Controller Output Observer : Estimation of Vehicle Tire Cornering and Normal Forces*. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Nov 2008.
- [Patton 97] Ron J. Patton. *Fault-tolerant control systems : the 1997 situation*. pages 1033–1054, Hull, U.K., 1997. IFAC symposium SAFEPROCESS.
- [Pengov 07] Marco Pengov, Basar Ozkan & Donald Margolis. *Méthode d'estimation en temps réel d'un effort arrière appliqués par le sol à un véhicule*. Brevet publié, Juin 2007. FR2894669 B1.
- [Pengov 08a] Marco Pengov, Basar Ozkan, Nouillant Cédric, Donald Margolis & Vincent Gelineau. *Procédé d'estimation de la charge d'un moteur électrique d'un système de direction pour véhicule automobile*. Brevet publié, Juin 2008. FR2909963 B1.
- [Pengov 08b] Marco Pengov, Basar Ozkan, Donald Margolis, Nouillant Cédric & Vincent Gelineau. *Procédé d'assistance améliorée par l'estimation de l'effort subi par la cré-*

- maillère d'un système de direction pour véhicule automobile.* Brevet publié, Juin 2008. FR2909961 A1.
- [Pengov 09] Marco Pengov, Basar Ozkan & Donald Margolis. *Procédé et dispositif pour estimer une valeur de couple en entrée d'une boîte de vitesse.* Brevet publié, Juin 2009. FR2925006 A1.
- [Prabhu 01] S.M. Prabhu & P.J. Mosterman. *Model-Based Design of a Power Window System : Modeling, Simulation, and Validation.* 2001.
- [Ra 08] Won-Sang Ra, Hye-Jin Lee, Jin-Bae Park & Tae-Sung Yoon. *Practical pinch detection algorithm for smart automotive power window control systems.* IEEE Transactions on Industrial Electronics, pages 1376–1384, march 2008.
- [Schlesiger 06] Markus Schlesiger & Sven Baumann. *Method for monitoring the adjustment movement of a component driven by a drive device.* Patent Pending, sep 2006. US 2007 / 0276567 A1.
- [Sollmann 04] Mathias Sollmann, Guido Schurr, Deirdre Duffy Baumgaertner & Christian Huck. *Anti-Pinch Protection for Power Operated Features.* SAE Word Congress and Exhibition, 2004.
- [ST 05] ST. *Application Note 2095 : VNH2SP30 for window lift with anti pinch routine.* Rapport technique, ST Microelectronics, 2005.
- [Stein 88] J.L. Stein & Y. Park. *Measurement signal selection and a simultaneous state and input observer.* ASME J. Dyn. Syst., Meas., Control, pages 151–159, June 1988.
- [Stenti 04] A. Stenti, D. Moens & W. Desmet. *Dynamic modeling of car door weather seals : A first outline.* Proceedings of ISMA2004, 2004.
- [Stephant 01] J Stephant, A Charada & D Meizel. *Contact Roue/Sol : comparaison de modèles d'efforts.* Bordeaux, 2001. JAA.
- [Suzuki 00] Shintaro Suzuki, Ryouichi Fukumoto, Masao Ohhashi & Yamada Katsuhisa. *Development of Power Sliding Door (PSD) System with Push-Pull Cable Driving Method.* SAE Word Congress, 2000.



- [Turbiez 08] Bertille Turbiez & Cédric Nouillant. *Modèle mécatronique de lève vitre électrique*. Rapport technique, PSA Peugeot Citroën, 2008.
- [Tyler 94] Matthew L. Tyler & Manfred Morari. *Optimal and robust design of integrated control and diagnostic modules*. Control and dynamical systems, mar 1994.
- [Vola 99] D. Vola, M. Raous & J.A.C. Martins. *Friction and instability of steady sliding : squeal of a rubber/glass contact*. International Journal for numerical methods in engineering 46, 1699-1720, 1999.
- [Whinnery 02] Joseph Whinnery. *Motor speed-based anti-pinch control apparatus and method with rough road condition detection and compensation*. Patent Pending, may 2002. US 2003 / 0225497 A1.
- [Wrenbeck 95] Bruce Wrenbeck, Jeffrey Kelley & Pedro Perez. *Adaptive window left control with pinch force based on object rigidity and window position*. Patent Pending, mar 1995. 0 640 740 A1.



## Annexe A

# Principe de fonctionnement de l'observateur C2O

Ce principe a été précédemment décrit dans [Ozkan 05] et [Ozkan 08].  
Soit un système physique linéaire défini par :

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (\text{A.1})$$

$$y = Cx \quad (\text{A.2})$$

$u$  est l'entrée du système, mais c'est aussi la grandeur à observer.  $y$  est la sortie mesurée du système.

Définissons alors un système modélisant le système linéaire à observer :

$$\dot{x}_o = A_o x_o + B_o u_o \quad (\text{A.3})$$

$$y_o = C_o x_o \quad (\text{A.4})$$

Les paramètres du modèle d'observation ( $A_o, B_o, C_o$ ) sont identifiés pour être les plus proches du système « réel » ( $A, B, C$ ).  $u_o$  et  $y_o$  sont respectivement l'entrée et la sortie du modèle d'observation. L'entrée  $u_o$  est la valeur de l'observation et en même temps la sortie d'un correcteur.

$$u_o = g(y - y_o) \quad (\text{A.5})$$

Le correcteur est une fonction de l'erreur entre  $y$  et  $y_o$ .

Sous couvert que le système d'observation respecte les critères de commandabilité, le correcteur doit réduire au maximum l'erreur entre  $y$  et  $y_o$  :

$$y - y_o \rightarrow 0 \quad (\text{A.6})$$

En transformant dans le domaine de Laplace les équations (A.1) et (A.2), nous avons :

$$Y = C(pI - A)^{-1}x_i + (C(pI - A)^{-1}B)U, \quad (\text{A.7})$$

avec  $p$  la variable de Laplace,  $I$  la matrice identité et  $x_i$  les conditions initiales des états du système.

De même, avec les équations (A.3) et (A.4), nous obtenons :

$$Y_o = C_o(pI - A_o)^{-1}x_{io} + (C_o(pI - A_o)^{-1}B_o)U_o, \quad (\text{A.8})$$

avec  $x_{io}$  les conditions initiales des états du système.

Si nous posons :

$$T = (C(pI - A)^{-1}B), \quad (\text{A.9})$$

et

$$T_o = (C_o(pI - A_o)^{-1}B_o), \quad (\text{A.10})$$

En fait, nous cherchons :

$$Y - Y_o = C(pI - A)^{-1}x_i + TU - C_o(pI - A_o)^{-1}x_{io} - T_oU_o \cong 0 \quad (\text{A.11})$$

En considérant  $T_o$  inversible :

$$T_o^{-1}C(pI - A)^{-1}x_i - T_o^{-1}C_o(pI - A_o)^{-1}x_{io} + T_o^{-1}TU - U_o \cong 0 \quad (\text{A.12})$$

Ou encore :

$$U_o \cong T_o^{-1}C(pI - A)^{-1}x_i - T_o^{-1}C_o(pI - A_o)^{-1}x_{io} + T_o^{-1}TU \quad (\text{A.13})$$

Si les conditions initiales s'annulent et que le terme  $T_o^{-1}T$  est proche de l'identité, alors :

$$U_o \cong U \quad (\text{A.14})$$

Le terme  $T_o^{-1}T$  est proche de l'identité, si le modèle d'observation est proche du modèle « réel ». Cependant, le modèle d'observation ne sera jamais identique au système réel.

Deux conditions s'impose alors pour obtenir la stabilité du système :

1.  $T_o$  est inversible
2. Les pôles de  $T$  sont à parties réelles négatives.



## Résumé

Nous assistons depuis plusieurs années à une multiplication des ouvrants pilotés dans le domaine Automobile. En effet, les constructeurs sont sans cesse dans l'obligation d'innover pour rester attractifs et différenciants pour le client. Il faut alors assurer un fonctionnement sûr et robuste du système d'ouvrant piloté automatisé.

Dès lors, il devient nécessaire de concevoir des méthodes de détection d'obstacle génériques, pour garantir la sécurité de l'utilisateur. Deux approches distinctes sont proposées en fonction de la qualité de la mesure.

Dans un premier cas, la formalisation des incertitudes de la mesure est développée pour assurer une détection rapide, robuste, et au paramétrage simplifié, malgré le peu d'informations disponibles. Dans un second cas, des synthèses innovantes d'observateurs d'effort extérieur sur l'ouvrant sont proposées, à l'aide du modèle physique du système. Ces deux approches sont validées sur des applications représentatives, en simulation et sur moyens d'essais.

## Mot-clés

Automobile, ouvrants pilotés, détection d'obstacle, observateur d'entrées inconnues.

## Abstract

We have been witnessing for several years an increase of opening parts in Automotive. Indeed, car manufacturers must continuously innovate to keep their models attractive and differentiating for the customer. Secure and robust opening part system must be ensured.

Therefore, it becomes necessary to develop generic methods of obstacle detection to ensure user's safety. Two different approaches are proposed based on measurement quality.

In one case, the formalization of measurement uncertainty is developed to guaranty early and robust detection, with simplified tuning, despite the limited information available. In a second case, innovative observers syntheses for opening part external effort are proposed, based on physical models of the system. Both approaches are validated on representative applications by simulation and test facilities.

## Keywords

Automotive, opening-parts, obstacle detection, unknown input observer.